Texte

Texte
42
07
ISSN
1862-4804

# Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)

Umwelt
Bundes
Amt
Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 203 48 362
UBA-FB 001047

Texte
42/07
ISSN
1862-4804

# Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)

von

**Dipl.-Ing. Hanns-Jürgen Warm**

Warm engineering, Freilassing

**Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke**

Ingenieurbüro Dr. Köppke, Bad Oeynhausen

unter Mitarbeit von

**Prof. Dr. W.B. Krätzig**
**Dr.-Ing. H. Beem**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3326.pdf
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: http://www.umweltbundesamt.de

Redaktion: Fachgebiet III 1.2
Roland Fendler

Dessau-Roßlau, Oktober 2007

| 1. Berichtsnummer<br>UBA-FB-001047 | 2. | 3. |
|---|---|---|

**4. Titel des Berichts**

Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)

**5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)**

Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen
Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich

**6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)**

Warm engineering
ibw@warm-engineering.com
Mittlere Feldstraße 1
83395 Freilassing

Ingenieurbüro Dr. Köppke
dr.koeppke@t-online.de
Elisabethstr. 31
32545 Bad Oeynhausen

**7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)**

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau

**8. Abschlussdatum**
Mai 2007

**9. Veröffentlichungsdatum**

**10. UFOPLAN – Nr.**
203 48 362

**11. Seitenzahl**
657

**12. Literaturangaben**
244

**13. Tabellen u. Diagramme**
28

**14. Abbildungen**
202

**15. Zusätzliche Angaben**

**16. Kurzfassung**

An konkreten Beispielen in verschiedenen Modellregionen in NRW, Sachsen und Sachsen-Anhalt wurde untersucht, wie Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 19g WHG, Betriebsbereiche, die der 12. BImSchV unterliegen, sowie Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in der Praxis vor Hochwasser geschützt werden. Für Betriebsbereiche wurden darüber hinaus auch die Gefahrenquellen Erdbeben, Sturm und Bergsenkungen näher untersucht. Auf Basis der Untersuchungen in den Modellregionen, der Analyse der rechtlichen Anforderungen sowie dem gegenwärtigen Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik wurden zahlreiche Vorschläge zur Fortschreibung des relevanten Umweltrechts und der Regelwerke erarbeitet, um die Sicherheit der betrachteten Anlagenarten und Betriebsbereiche zu verbessern.

**17. Schlagwörter**

Hochwasser, Überschwemmungsgebiet, überschwemmungsgefährdetes Gebiet, Sturm, Erdbeben, Bergsenkung, Störfallverordnung, VAwS-Anlage, Betriebsbereich, Hochwasserschutz, Sicherheitstechnik, Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

| 18. Preis | 19. | 20. |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| **1. Report No.**<br>**UBA-FB-001047** | **2.** | **3.** |

**4. Report Title**

Safety of new and existing facilities and establishments against natural environmental hazards, especially flood

**5. Author(s), Family Name(s), First Name**

Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen
Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich

**6. Performing Organisation (Name, Adress)**

Warm engineering
ibw@warm-engineering.com
Mittlere Feldstr. 1
83 395 Freilassing

Ingenieurbüro Dr. Köppke
dr.koeppke@t-online.de
Elisabethstr. 31
32545 Bad Oeynhausen

**7. Sponsoring Agency (Name, Adress)**

Federal Environment Agency
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau

**8. Report Date**
May 2007

**9. Publication Date**

**10. UFOPLAN – Ref. No.**
203 48 362

**11. No. of Pages**
657

**12. No. of References**
244

**13. No. of Tables, Diagr.**
28

**14. No. of Figures**
202

**15. Supplementary Notes**

**16. Abstract**

In different model areas in North Rhine-Westphalia, Saxony and Saxony-Anhalt the protection against flood was investigated for facilities for handling substances constituting a hazard to water according to § 19g Water Management Act, establishments according to the Major Accidents Ordinance and storage tanks for inflammable gazes. Moreover the impacts caused by storm, earthquake and mining settlement were also regarded for establishments. On the basis of the results of the investigations in the model areas, the analysis of the legal requirements and the analysis of the state-of-the-art numerous proposals were elaborated to develop the relevant environmental regulations and standards to improve the safety of the regarded plants and establishments.

**17. Keywords**

flood, flood planes, flood-prone zones, storm, earthquake, mining settlement, Major Accidents Ordinance, Facilities for Handling Substances Constituting a Hazard to Water, establishment, flood protection, safety technique, emergency management

| | | |
|---|---|---|
| **18. Price** | **19.** | **20.** |

# Inhaltsverzeichnis

1 AUSGANGSSITUATION UND AUFGABENSTELLUNG ..... 1
1.1 Ausgangssituation ..... 1
1.2 Aufgabenstellung ..... 5
1.2.1 Sachstandsanalyse ..... 5
1.2.2 Projektevaluation ..... 7
1.2.3 Ermittlung des Standes der Technik und von Nachrüstungs-möglichkeiten ..... 7
1.2.4 Ergebnisse ..... 8

2 ZUSAMMENFASSUNG ..... 9
2.1 Situationsbeschreibung für die Gefahrenquelle Hochwasser ..... 10
2.2 Ergänzungs- und Novellierungsbedarf der rechtlichen Grundlagen zum Hochwasserschutz ..... 12
2.2.1 Bemessungsansatz für die Ermittlung von über-schwemmungsgefährdeten Gebieten ..... 12
2.2.2 Anpassung der VAwS-Anlagenverordnungen an das WHG ..... 15
2.2.3 Mögliche Anforderungen an Anlagen und Betriebsbereiche in überschwemmungsgefährdeten Gebieten ..... 16
2.2.3.1 VAwS-Anlagen sowie Aspekte eines Deich-versagens ..... 16
2.2.3.2 Betriebsbereiche gemäß der Störfall-Verordnung ..... 19
2.2.3.3 Flüssiggasbehälter ..... 24
2.2.4 Erfassung von kleinen privaten Heizöltanks und Flüssiggas-behältern ..... 26
2.3 Fortschreibung von Verordnungen und technischen Regelwerken für die Gefahrenquelle Hochwasser ..... 27
2.4 Sachstandsanalyse in den Modellregionen ..... 27
2.5 Stand der Technik zum Hochwasserschutz ..... 30
2.6 Schutz vor Sturm und Erdbeben ..... 33
2.7 Bergsenkungen ..... 36
2.8 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung, Katastrophenschutz ..... 38
2.9 Vorschläge für Vollzugshilfen und für die Öffentlichkeitsarbeit ..... 40

3 RECHTLICHE GRUNDLAGEN, VERORDNUNGEN UND TECHNISCHE REGELWERKE ..... 42
3.1 Vorgaben des WHG zum vorbeugenden Hochwasserschutz ..... 45
3.2 Vorbeugender Hochwasserschutz in den Landeswassergesetzen ..... 49
3.2.1 Nordrhein-Westfalen ..... 49

3.2.2 Sachsen-Anhalt ..... 51
3.2.3 Sachsen ..... 54
3.2.4 Zusammenfassender Vergleich der Landeswassergesetze ..... 56
3.3 Hochwassernachrichtendienst ..... 58
3.3.1 Nordrhein-Westfalen ..... 58
3.3.2 Sachsen-Anhalt ..... 59
3.3.3 Sachsen ..... 60
3.4 Empfehlungen der Flussgebietskommissionen ..... 61
3.4.1 IKSE ..... 62
3.4.2 IKSR ..... 67
3.4.2.1 Nasse Vorsorge ..... 69
3.4.2.2 Trockene Vorsorge ..... 71
3.4.3 Zusammenfassende Bewertung der Empfehlungen der Flussgebietskommissionen ..... 74
3.5 Anlagenverordnungen der Länder (VAwS) ..... 75
3.5.1 Begriffsbestimmungen ..... 75
3.5.2 Grundsatzanforderungen für VAwS-Anlagen ..... 76
3.5.3 Sonderregelungen für bestimmte Anlagen ..... 77
3.5.4 Prüfpflicht in den Modellgebieten ..... 78
3.5.5 Besondere Anforderungen der VAwS an Anlagen in Überschwemmungsgebieten ..... 79
3.5.6 Bestandschutz ..... 82
3.5.7 Alarmpläne aufgrund der VAwS ..... 84
3.6 Bauplanungsrechtliche Instrumente des vorbeugenden Hochwasserschutzes ..... 84
3.7 Instrumente der Störfall-Verordnung ..... 85
3.7.1 Anwendungsbereich der Störfall-Verordnung ..... 85
3.7.1.1 Pflichten und Anforderungen gemäß der Störfall-Verordnung ..... 86
3.7.1.2 Grundpflichten ..... 87
3.7.1.3 Erweiterte Pflichten ..... 88
3.7.2 Aussagekraft der Störfall-Verordnung in Bezug auf die Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen ..... 89
3.7.3 Erläuterungen zur Umweltschutzgesetzgebung auch in Bezug auf genehmigungsbedürftige Anlagen nach dem BImSchG unter dem Aspekt des Vorsorgeprinzipes ..... 90
3.7.4 Sicherheitstechnischen Auslegungskriterien ..... 91
3.8 Regelwerke und Verordnungen zum Schutz von Anlagen und Betriebsbereichen gegen umgebungsbedingte Gefahrenquellen ..... 92

3.8.1 Allgemeine Übersicht, Anwendungskriterien ....92
3.8.2 Anforderungen gegen Gefahren durch und verbunden mit Hochwasser in technischen Regelwerken ....94
3.8.3 Zusammenstellung und Auswertung für den Hochwasserschutz relevanter Regelwerken und Verordnungen....95
3.8.4 Bewertung der Regelwerke und Verordnungen hinsichtlich Hochwasserschutzanforderungen ....125

4 HEIZÖL- UND FLÜSSIGGASLAGERUNG IN ÜBERSCHWEMMUNGS- UND ÜBERSCHWEMMUNGSGEFÄHRDETEN GEBIETEN ....126
4.1 Mögliche Gefahren bei Heizöllagerung .... 126
4.2 Prüfung der Heizöllagerung durch Sachverständige .... 128
4.3 Stand der Technik zum Schutz von Anlagen zum Lagern von Heizöl ... 128
4.4 Mögliche Gefahren bei Flüssiggaslagerung .... 130
4.4.1 Genehmigungspflicht, Genehmigungsbefreiung....132
4.4.2 Prüfung der Flüssiggaslagerung durch Sachkundige und Sachverständige....134
4.4.3 Stand der Technik zum Schutz von Flüssiggaslageranlagen ...134

5 HOCHWASSERMANAGEMENT ZUR GEFAHRENABWEHR UND GEFAHRENMINIMIERUNG ....137
5.1 Kurzdarstellung wasserwirtschaftlicher Grundbegriffe .... 142
5.2 Auswertung statistischer Daten .... 143
5.3 Hochwassersimulationssysteme .... 145
5.4 Erarbeitung von Gefahrenkarten .... 150
5.5 Visualisierung von Hochwasserereignissen am Beispiel des Neckars . 152
5.6 Einsatz von dreidimensionalen Visualisierungstechniken .... 157
5.7 Vorhersage und Vorwarnzeit .... 159
5.8 Zusammenfassung und Vorschläge zum Hochwassermanagement .... 163

6 SACHSTANDSANALYSE DER HOCHWASSERGEFÄHRDUNG VON BETRIEBSBEREICHEN UND VAWS-ANLAGEN....164
6.1 Auswahl von Modellregionen .... 164
6.2 Vorgehensweise und Arbeitsprogramm .... 165
6.3 Ursachen von Hochwasserereignissen am Rhein und im Einzugsgebiet der Elbe .... 167
6.3.1 Flussgebietscharakteristik des Rheins ....168
6.3.2 Ursachen der Hochwasserereignisse am Rhein....170
6.3.3 Flussgebietscharakteristik der Elbe....174

6.3.4 Flussgebietscharakteristiken der Nebenflüsse aus dem Erzgebirge ....176
6.3.5 Flussgebietscharakteristik der Mulde ....178
6.3.6 Meteorologische Situation während des Hochwassers 2002 ...180
6.4 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten und Schadens-potenzialen .... 182
6.4.1 Niederrhein – NRW ....182
6.4.1.1 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten ...182
6.4.1.2 VAwS-Anlagen und Betriebsbereiche....184
6.4.2 Sachsen-Anhalt ....187
6.4.2.1 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten ...187
6.4.2.2 VAwS-Anlagen und Störfallanlagen....191
6.4.3 Sachsen ....191
6.4.3.1 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten ...191
6.4.3.2 VAwS-Anlagen und Betriebsbereiche....191
6.5 Modellregionen in Nordrhein-Westfalen .... 194
6.5.1 Modellregion Emmerich....195
6.5.2 Produktionsanlagen der KAO Chemicals ....197
6.5.2.1 Lage des Produktionsstandortes ....197
6.5.2.2 Produktion ....199
6.5.2.3 Defizitanalyse ....199
6.5.3 Produktionsanlagen der Uniqema ....201
6.5.3.1 Lage des Produktionsstandortes ....201
6.5.3.2 Hochwasserschutzkonzept der Stadt Emmerich .....203
6.5.3.3 Defizitanalyse ....203
6.5.4 Hochwassergefährdung am Chemiestandort Leverkusen .....205
6.5.4.1 Lage des Chemiestandortes....205
6.5.4.2 Hochwasserschutzkonzept....206
6.5.4.3 Defizitanalyse ....214
6.6 Modellregionen in Sachsen-Anhalt .... 214
6.6.1 Modellregion Chemiepark Bitterfeld/Wolfen ....215
6.6.1.1 Lage des Chemieparks Bitterfeld/Wolfen ....215
6.6.1.2 Hochwassersituation 2002 ....216
6.6.1.3 Analyse der technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Schutz von Betriebsbereichen ....219
6.6.1.4 Analyse der betrieblichen Maßnahmen zum Schutz von Betriebsbereichen....221
6.6.1.5 Folgewirkungen des Hochwassers....223
6.6.1.6 Hochwasserkonzept für die Mulde....223

6.6.1.7 Defizitanalyse ....227
6.6.2 Modellregion Dessau....230
6.6.2.1 Hochwasserereignisse im August 2002....230
6.6.2.2 Defizitanalyse ....234
6.6.3 Modellregion Schönebeck (Elbe)....235
6.6.3.1 Lage der Hermania Schirm AG ....235
6.6.3.2 Produktion ....236
6.6.3.3 Hochwasserereignisse im August 2002....237
6.6.3.4 Analyse der technischen Maßnahmen zum Schutz von Betriebsbereichen und Anlagen für wassergefährdende Stoffe....240
6.6.3.5 Betrieblicher Alarm und Gefahrenabwehrplan....242
6.6.3.6 Einschätzung der Hochwassergefährdung der Hermania Schirm AG....243
6.6.3.7 Defizitanalyse ....245
6.7 Modellregionen in Sachsen.... 245
6.7.1 Auswahl der Modellregionen ....245
6.7.2 Modellregion Dohna ....246
6.7.2.1 Örtliche Lage der Fluorchemie in Dohna ....246
6.7.2.2 Produktionsanlagen der Fluorchemie ....247
6.7.2.3 Hochwasserereignisse im August 2002....248
6.7.2.4 Hochwasserschutzkonzept der Landestalsperrenverwaltung ....252
6.7.2.5 Notfall- sowie Alarm- und Gefahrenabwehrplanung (Stand Frühjahr 2004) ....256
6.7.2.6 Defizitanalyse (Stand Frühjahr 2004) ....257
6.7.3 Modellregion Dresden ....260
6.7.3.1 Hochwasserereignisse im August 2002....260
6.7.3.2 Sanierung von bestehenden Anlagen zum Lagern von Heizöl....262
6.7.3.3 Gefährdung durch Grundwasser und Rückstau im Kanalsystem ....266
6.7.3.4 Hochwassersicherung von KFZ-Tankstellen ....267
6.7.3.5 Überprüfung durch Sachverständige....267
6.7.3.6 Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern (Flüssiggaslagerung)....267
6.7.3.7 Defizitanalyse ....268
6.8 Übergreifende Ergebnisdarstellung mit Defizitanalyse .... 269
6.8.1 Umsetzung der technischen Regelwerke ....269

6.8.1.1 Betriebsbereiche....269
6.8.1.2 VAwS-Anlagen ....271
6.8.1.3 Private Flüssiggasbehälter ....272
6.8.2 Sicherheit gegen Strömungskräfte und Treibgut ....273
6.8.3 Sicherung der Einlaufbauwerke....273
6.8.4 Informationsfluss zwischen Behörden und Anlagenbetreibern ....274
6.8.5 Handeln im Hochwasserfall....274
6.8.6 Defizitanalyse bei Hochwasserschutzzielen....276

7 STAND DER TECHNIK ZUM ANLAGENBEZOGENEN HOCHWASSERSCHUTZ MIT NACHRÜSTUNGSMÖGLICHKEITEN SOWIE BERECHNUNG VON SCHADSTOFFFREISETZUNGEN UND -AUSBREITUNGEN ....277
7.1 Einführung .... 277
7.1.1 Generelle Aussagen zum Stand der Technik ....277
7.1.2 Technische Regelwerke zum Hochwasserschutz für Komponenten und Teile von Betriebsbereichen gemäß StörfallV ...280
7.2 Technische Maßnahmen zum vorbeugendem Hochwasserschutz.... 281
7.2.1 Stand der Technik zur trockenen Vorsorge ....284
7.2.1.1 Stationäre Maßnahmen ....285
7.2.1.2 Instationäre Maßnahmen....290
7.2.1.3 Beispiele von auf dem Markt verfügbaren Produkten zum technischen mobilen Hochwasserschutz und zu Nachrüstungsmöglichkeiten ....303
7.2.2 Stand der Technik zur nassen Vorsorge ....312
7.2.3 Möglichkeiten der Nachrüstung ....319
7.2.3.1 Umstellung der privaten Wärmeversorgung ....319
7.2.3.2 Nachrüstung durch Maßnahmen zur trockenen Vorsorge....320
7.2.3.3 Nachrüstung von Anlagen zur nassen Vorsorge ....321
7.3 Organisatorische Maßnahmen zur Hochwasservorsorge .... 322
7.3.1 Informationsbeschaffung ....322
7.3.2 Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes ....323
7.3.3 Erarbeitung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen ....326
7.3.4 Abstimmung des internen Alarm- und Gefahrenabwehrplans mit dem Katastrophenschutzplan der Behörden....328
7.3.5 Erprobung der internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanung ....328
7.3.6 Kommunikation mit den Katastrophenschutzämtern ....328

7.4 Zusammenfassung des Standes der Technik zum vorbeugendem Hochwasserschutz ..... 329
7.5 Technische Maßnahmen zur Begrenzung von Freisetzungen ..... 329
7.5.1 Maßnahmen an der Ausstrittstelle ..... 329
7.5.2 Maßnahmen auf dem Gewässer ..... 330
7.6 Hinweise und Ansätze zur Ermittlung von Störfallauswirkungen bei Stofffreisetzungen und mögliche Maßnahmen im Falle von Freisetzungen ..... 335
7.6.1 Erkennen von störfall- bzw. schadensbedingten Freisetzungen von gefährlichen Stoffen ..... 336
7.6.2 Methoden zur Abschätzung der Freisetzungsmengen ..... 337
7.6.2.1 Leckagen oberhalb der Wasserlinie ..... 338
7.6.2.2 Leckagen unterhalb der Wasserlinie ..... 341
7.6.3 Methoden zur Abschätzung der Folgen einer Freisetzung ..... 343
7.6.3.1 Ausbreitungsrechung für Schadstoffe auf dem Luftpfad ..... 344
7.6.3.2 Verdampfungs- und Verdunstungsvorgänge von freigesetzten flüssigen Medien in Luft ..... 351
7.6.3.3 Ausbreitungsrechung für gelöste Schadstoffe auf dem Wasserpfad ..... 357
7.6.3.4 Ausbreitungsbetrachtung für feste Stoffe im Wasser ..... 366
7.7 Bewertung der Wirkung von Freisetzungen ..... 367
7.7.1 Methodik zur Risikobewertung bei Schadstofffreisetzungen in die Atmosphäre ..... 367
7.7.2 Methodik zur Risikobewertung von Schadstofffreisetzungen in Gewässer ..... 368

8 STURM UND ERDBEBEN ALS GEFAHRENQUELLEN FÜR BETRIEBSBEREICHE ..... 370
8.1 Grundbegriffe der Tragwerksdynamik ..... 372
8.1.1 Tragwerksreaktionen ..... 372
8.1.2 Dämpfung ..... 378
8.1.3 Nichtlineares dynamisches Tragverhalten ..... 380
8.2 Sachstandsanalyse: Sturmeinwirkungen auf Tragwerke ..... 383
8.2.1 Mögliche Defizite bei Produktionsanlagen ..... 383
8.2.2 Grundbegriffe der Tragwerksaerodynamik ..... 384
8.2.3 Kurzübersicht über DIN E 1055-4 ..... 389

8.2.3.1 Gefährdungspotenzial von Stürmen: Windzonen, Referenzgeschwindigkeiten und maßgebende Staudrücke ....389
8.2.3.2 Schwingungsanfällige und nicht-schwingungs-anfällige Tragwerke ....390
8.2.3.3 Windeinwirkungen auf nicht-schwingungs-anfällige Tragwerke ....393
8.2.3.4 Aerodynamische Druck- und Kraftbeiwerte ....393
8.2.3.5 Schwingungsanfällige Tragwerke ....394
8.2.3.6 Böenerregte Tragwerksschwingungen ....395
8.3 Sachstandsanalyse: Erdbebeneinwirkungen auf Tragwerke .... 397
8.3.1 Mögliche Defizite bei Produktionsanlagen ....397
8.3.2 Grundbegriffe des Erdbebeningenieurwesens ....398
8.3.3 Kurzübersicht über DIN 4149 (04/2005) ....410
8.3.3.1 Standard-Nachweisverfahren für linear elastische Tragwerke ....411
8.3.3.2 Erdbebensicherheitsnachweise nach DIN 4149 und Standardverfahren ....414
8.3.3.3 Seismisches Gefährdungspotenzial gemäß DIN 4149 ....416
8.3.3.4 Regeldarstellung der Antwortspektren in DIN 4149 ....420
8.3.3.5 Schutzziele der DIN 4149 ....422
8.3.3.6 Bauweisenorientierte Zusatzregelungen ....423
8.4 Ausgewählte Modellregion: Luftzerlegungsanlage der Linde AG in Stolberg .... 424
8.4.1 Konstruktion ....425
8.4.2 Statische Unterlagen ....427
8.4.3 Standsicherheit ....427
8.4.4 Betrachtung unter dem Gesichtspunkt der Anwendung der Störfall-Verordnung ....428
8.5 Vorläufiges Fazit: Erkenntnis erster Defizitquellen .... 429
8.5.1 Baunormen unterschiedlichen Standes der Technik ....429
8.5.1.1 DIN E 1055-4: Sturmgefährdung ....430
8.5.1.2 DIN 4149: Erdbebengefährdung ....430
8.5.2 Baurechtliche Mitgenehmigung von Tragwerken des Anlagenbaus ....431
8.5.3 Gleiche Sicherheitsniveaus bei Kombinationsrisiken ....432
8.5.4 Sicherheit und Investitionsmittel ....433

8.5.5 Vorläufige Ergebnisbewertung ....433
8.5.5.1 Praxis der Standsicherheitsprüfung in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren ....433
8.5.5.2 Bauwerke ....434
8.5.5.3 Technische Anlagen / überwachungsbedürftige Anlagen in Betriebesbereichen....434
8.5.5.4 Zusatzbetrachtung unter Aspekten der Anwendung der StörfallV....435
8.5.5.5 Zusammenfassung....436
8.6 Sachstandsanalyse: Einheitliche Gefahrenabwehr baulicher Anlagen mit dem Eurocode-Sicherheitskonzept .... 436
8.6.1 Grundlagen und Einführung in Tragwerkszuverlässigkeit ....436
8.6.2 Zuverlässigkeit, Dauerhaftigkeit und Robustheit ....438
8.6.3 Grenzzustände und Partialsicherheiten....440
8.6.4 Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse und Zuverlässigkeitsindices....441
8.6.5 Grenzzustandsfunktion und Sicherheitsindex $\beta$....445
8.6.6 Nachweisformate nach den Eurocodes....447
8.6.7 Vereinfachte Nachweisformate für den Hochbau ....449
8.6.7.1 Schutzziele der DIN 1055-100 (03/2001) ....449
8.6.7.2 Superposition von Eigengewicht $G_k$, $Q_{Nutzlast}$, $Q_{Wind}$ und $Q_{Schnee}$ ....450
8.6.7.3 Außergewöhnliche Kombination von $G_k$, $A_d$, $Q_{Nutzlast}$ und $Q_{Wind}$....451
8.6.7.4 Superposition von $G_k$, $A_{Ed}$ (Erdbeben) und $Q_{Nutzlast}$....451
8.7 Bautechnische Anlagensicherheit: Schwachpunkte, Defizite und vorgeschlagene Maßnahmen .... 452
8.7.1 Rechtliche Gesichtspunkte und administrative Defizite ....453
8.7.1.1 Die neue Europäische Generation von Baunormen ....453
8.7.1.2 Baurechtliche Sicherheitsdefizite durch BImSchG-Mitgenehmigung ....454
8.7.1.3 Baurechtliche Prüfung und immissionsschutzrechtliche Genehmigung....457
8.7.1.4 Kombinierte Risiken (Combined Risks) ....458
8.7.1.5 Wirksamwerden von Naturrisiken....460
8.7.2 Reduktion der Sturmgefährdung von Betriebsbereichen gemäß StörfallV....462

8.7.2.1 Höhere Windgeschwindigkeiten gemäß neuer DIN 1055-4 (03, 2005) ..... 462
8.7.2.2 Kriterien für sturmsichere Auslegung von Produktionsanlagen? ..... 465
8.7.2.3 Topographischer Umgebungseinfluss: Grenzschicht-Windkanäle ..... 467
8.7.2.4 Tragwerkssicherheit gegen höhere lokale Sturmgeschwindigkeiten ..... 469
8.7.2.5 Einfluss von Klimaänderungen? ..... 471
8.7.2.6 Sturmschaden-Vorsorge durch Nachrüstmaßnahmen ..... 472
8.7.2.7 Beispiel: Sturmsicherheit einer Kraftwerkskomponente ..... 474
8.7.3 Sicherheit von Betriebsbereichen gemäß StörfallV gegen Erdbeben ..... 478
8.7.3.1 Analyseverfahren zur seismischen Sicherheit gemäß DIN 4149 ..... 478
8.7.3.2 Eignung der Schutzziele der DIN 4149 ..... 481
8.7.3.3 Die Regelungen des KTA – Kerntechnischen Ausschusses ..... 483
8.7.3.4 Seismische Gefährdung, Duktilität und Vulnerabilität ..... 487
8.7.3.5 Seismische Vulnerabilität von Einzeltragwerken und verfahrenstechnischen Anlagen ..... 489
8.7.3.6 Performance-based seismic design ..... 494
8.7.3.7 Seismische Instrumentierung und Schadenskontrollen ..... 497
8.7.3.8 A-seismischer Entwurf, seismische Ertüchtigung durch Nachrüstung ..... 499
8.7.3.9 Seismische Bodenverflüssigung ..... 503
8.7.3.10 Maßnahmen nach Erdbeben ..... 505
8.8 Zusammenfassung ..... 506

9 BERGSENKUNGEN/BERGBAUINDUZIERTE BODENBEWEGUNGEN ALS GEFAHRENQUELLE FÜR BETRIEBSBEREICHE ..... 507
9.1 Kenntnisstand über das Wirksamwerden von Bergsenkungen ..... 508
9.1.1 Allgemeines zu den bergbaulichen Einwirkungen ..... 508
9.1.2 Bewegungsvorgänge über Abbauen in größerer Teufe ..... 508
9.1.2.1 Senkungstrog ..... 510

9.1.2.2 Unstetigkeiten ..... 514
9.1.3 Einwirkungen auf Gebäude, Anlagen und Betriebsbereiche ..... 515
9.1.3.1 Einfluss einer Senkung ..... 515
9.1.3.2 Einfluss einer Schieflage ..... 516
9.1.3.3 Einfluss einer Krümmung ..... 517
9.1.3.4 Einfluss einer Längenänderung (Zerrung und Pressung) ..... 517
9.1.3.5 Einfluss konzentrierter Bodenbewegungen ..... 517
9.1.3.6 Zusammenfassung ..... 518
9.2 Stand der relevanten, gültigen Rechtsvorschriften und Regelwerke ..... 520
9.2.1 Das Bundesberggesetz ..... 520
9.2.2 Richtlinien ..... 525
9.2.3 Technische Normen und Regelwerke ..... 528
9.3 Stand der Forschung ..... 528
9.3.1 Bergbauliche Baugrundverkürzungen ..... 528
9.3.2 Bergbauliche Baugrundlängungen ..... 529
9.3.3 Diskussion und Vergleich der Forschungsergebnisse ..... 530
9.3.3.1 Bergbauliche Baugrundverkürzungen ..... 530
9.3.3.2 Bergbauliche Baugrundlängungen ..... 530
9.3.3.3 Unstetigkeiten ..... 531
9.4 Maßnahmen gegen das Wirksamwerden von Bergsenkungen - Stand der Technik ..... 531
9.4.1 Arten der Sicherung ..... 531
9.4.2 Maßnahmen gegen Schieflagen ..... 533
9.4.3 Maßnahmen gegen Baugrundkrümmungen ..... 533
9.4.4 Maßnahmen gegen Baugrundlängungen (Zerrungen) ..... 535
9.4.5 Maßnahmen gegen Baugrundkürzungen (Pressungen) ..... 536
9.4.6 Maßnahmen bei konzentrierten Bodenbewegungen ..... 537
9.4.7 Möglichkeiten der Nachrüstung baulicher Anlagen ..... 537
9.5 Ergebnisbewertung ..... 539
9.5.1 Allgemeines zu den rechtlichen Regelungen ..... 539
9.5.1.1 Geplanter Abbau unter einer bestehenden Industrieanlage ..... 541
9.5.1.2 Errichtung einer neuen Industrieanlage bei aktivem Abbau ..... 541
9.5.2 Zusammenfassung ..... 542
9.6 Hochwasserschutzanlagen (Flussdeiche) ..... 543
9.6.1 Einwirkungen ..... 543
9.6.2 Stand der relevanten Vorschriften ..... 544

9.6.3 Maßnahmen zur Deichsicherung in Bergsenkungsgebieten ....545
9.6.3.1 Planungstechnische Maßnahmen .....545
9.6.3.2 Schäden und Instandsetzung .....546
9.6.4 Zusammenfassung .....549
9.7 Ausgewählte Modellregion Chemiepark Marl..... 549
9.7.1 Auswahlkriterien .....549
9.7.2 Der Chemiepark Marl .....555
9.8 Zusammenfassung ..... 559

10 PLANUNG FÜR NOTFÄLLE / ALARM- UND GEFAHRENABWEHR-PLANUNG .....561
10.1 Vorbemerkung ..... 561
10.2 Grundlagen der Gefahrenabwehrplanung von Anlagenbetreibern..... 561
10.2.1 Pflichten der Betreiber nach Störfall-Verordnung .....561
10.2.2 Erstellung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen für Betriebsbereiche .....564
10.2.2.1 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung für Betriebsbereiche mit Grundpflichten gemäß der Störfall-Verordnung.....565
10.2.2.2 Interne Alarm- und Gefahrenabwehrpläne für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten gemäß Störfall-Verordnung .....566
10.2.2.3 Interner Alarm- und Gefahrenabwehrplan (AGAP) ..567
10.2.2.4 Wesentliche Aspekte der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung.....569
10.2.3 Pflichten der Behörden nach StörfallV und aufgrund der Seveso-II-Richtlinie .....569
10.2.4 Pflichten von VAwS-Anlagenbetreibern.....571
10.2.5 Alarmplanung für VAwS-Anlagen .....571
10.3 Vollzug der VAwS-Anlagendokumentation in den Bundesländern..... 573
10.4 Spezifische Planungen für Anlagen zum Umgang mit Heizölen und Kraftstoffen bei Hochwasserlagen ..... 574
10.5 Notfall-, Alarm- und Gefahrenabwehrplanung sowie Organisationsstrukturen der Länder..... 575
10.5.1 Nordrhein-Westfalen .....575
10.5.2 Sachsen-Anhalt .....580
10.5.3 Sachsen .....582
10.6 Technische und organisatorische Anforderungen an die Betreiber zur Koordination von internen und externen Maßnahmen ..... 584

10.7 Einbindung der Betreiber in die externe Gefahrenabwehrplanung in den Modellregionen ..... 585
10.8 Berücksichtigung der spezifischen Gefahrenpotenziale..... 586
10.9 Feststellung von gefährdeten Betriebsbereichen durch Behörden gemäß § 15 StörfallV (Dominoeffekte)..... 587
10.9.1 Anwendung des § 15 StörfallV .....588
10.9.2 Verfahren zur Prüfung durch die Behörde.....589
10.9.3 Ergebnis der Untersuchung in den Modellregionen.....589
10.10 Vorhersage von Ereignissen, welche natürliche umgebungsbedingte Gefahren auslösen können..... 590
10.10.1 Verfahren und Strukturen .....590
10.10.2 Verfahren zur Alarmierung vor natürlichen umgebungsbedingten Gefahrenquellen .....591

11 ERKENNTNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN SOWIE FORSCHUNGS- UND HANDLUNGSBEDARF .....592
11.1 Gefahrenquelle Hochwasser..... 592
11.1.1 Bemessungsgrundlage für überschwemmungsgefährdete Gebiete .....593
11.1.2 Anpassung der Landeswassergesetze an das WHG .....597
11.1.3 Überarbeitung der Anforderungen an VAwS-Anlagen.....598
11.1.4 Anforderungen an VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten sowie Aspekte eines Deichversagens...601
11.1.5 Schutzziel von Betriebsbereichen .....611
11.1.6 Anforderungen an Betriebsbereiche in Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten .....612
11.1.7 Anforderungen für brennbare Gase (Flüssiggase) .....618
11.1.8 Erfassung von kleinen privaten Heizöltanks und Flüssiggasbehältern .....620
11.1.9 Fortschreibung von Verordnungen und Regelwerken für die Gefahrenquelle Hochwasser .....622
11.1.10 Möglichkeiten zur Verbesserungen des technischen Hochwasserschutzes.....623
11.1.11 Methoden zur Ermittlung von Stofffreisetzungen und Stoffausbreitungen.....624
11.2 Gefahrenquelle Sturm und Erdbeben ..... 626
11.2.1 Untersuchungsergebnisse.....626
11.2.2 Empfehlungen für die Fortschreibung von Gesetzen bzw. Verordnungen und technischen Regeln .....628

11.2.3 Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....630
11.3 Gefahrenquelle Bergsenkungen ..... 631
11.3.1 Gefahrenquelle Bodenbewegungen .....631
11.3.2 Darlegungen zu Regelwerken und Gesetzen und Erkenntnisse bei der Umsetzung .....631
11.3.2.1 Geplanter Abbau unter einem bestehenden Betriebsbereich .....633
11.3.2.2 Errichtung einer neuen Industrieanlage bei aktivem Abbau.....634
11.3.3 Empfehlungen für rechtliche Maßnahmen und technische Regeln sowie Prüfverfahren .....634
11.3.4 Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....635
11.4 Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen in der Gesetzgebung ..... 636
11.4.1 Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen in der Störfall-Verordnung .....636
11.4.2 Berücksichtigung der Gefahrenquelle Hochwasser in den Wassergesetzen – weitere Ansätze zur Fortschreibung .....638
11.5 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung, Katastrophenschutz ..... 639
11.5.1 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung für Betriebsbereiche gemäß den Grundpflichten .....639
11.5.2 Zusammenarbeit von Betreibern und Behörden.....640

12 LITERATURVERZEICHNIS.....641
12.1 Literatur zu den Kapiteln 1 – 7 und 10 – 11 ..... 641
12.2 Literatur zum Kapitel 8 ..... 649
12.3 Literatur zum Kapitel 9 ..... 657

## Anlagenverzeichnis

Anlage I Vorschlag für eine Vollzugshilfe hinsichtlich der Unterlagen und Darlegungen im Genehmigungsantrag nach dem BImSchG für Anlagen in Betriebsbereichen in Bezug auf die Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm, Erdbeben sowie Bergsenkungen sowie den Prüfungsrahmen durch die Genehmigungsbehörde

Anlage II Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Prüfung eines Sicherheitsberichtes (SiB) gemäß der Störfall-Verordnung in Bezug auf die Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen

Anlage III Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Durchführung von Inspektionen von Betriebsbereichen

Anlage IV Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Prüfung privater Heizöltanks und Flüssiggasbehälter bzgl. der Gefahrenquelle Hochwasser

Anlage V Mittel für die Öffentlichkeitsarbeit

Anlage VI Muster und Bausteine für einen internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan Hochwasser (AGAP HW)

## Gewässerkundliche Hauptwerte

Der Wasserstand wird mit dem Symbol **W** gekennzeichnet und der Durchfluß mit dem Symbol **Q.** Aus den langjährigen Datenreihen an den Pegeln werden berechnet:

| Wasser-stand | Wasser-abfluss | |
|---|---|---|
| HHW | HHQ | höchster bekannter Wert |
| HW | HQ | höchster Wert gleichartiger Zeitabschnitte einer Zeitspanne |
| MHW | MHQ | mittlerer höchster Wert gleichartiger Zeitabschnitte einer Zeitspanne |
| MW | MQ | Mittelwert gleichartiger Zeitabschnitte einer Zeitspanne |
| MNW | MNQ | mittlerer niedrigster Wert gleichartiger Zeitabschnitte einer Zeitspanne |
| NW | NQ | niedrigster Wert gleichartiger Zeitabschnitte einer Zeitspanne |
| NNW | NNQ | niedrigster bekannter Wert |

# 1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

## 1.1 Ausgangssituation

Berichte über Hochwasserereignisse gehören mittlerweile zum festen Bestandteil von Nachrichtensendungen. Die schwersten Überflutungen der letzten Jahrhunderte spielten sich in der Regel weit entfernt von Europa in Asien oder Amerika ab. Überschwemmungen an Rhein und Mosel sowie an der Donau um Passau gehören jedoch auch hierzulande zu den fast jährlich vorkommenden Ereignissen. Beim Oderhochwasser von 1997 entging Deutschland wegen der überwiegend erfolgreichen Deichsicherungsmaßnahmen nur knapp einer größeren Katastrophe, während zeitgleich die polnischen Gebiete großflächig überflutet wurden. Das Augusthochwasser im Einzugsgebiet der Elbe im Jahre 2002 verdeutlichte die katastrophalen Auswirkungen, die durch die Überflutung ganzer Landstriche verursacht werden können (**Abbildung 1.1.1**). Nicht ganz so verheerend war das Hochwasser vom April 2006 an der Elbe.

**Abbildung 1.1.1**: Luftaufnahme vom Elbehochwasser 2002

Schon unter dem Eindruck der Hochwasserereignisse von 1993 und 1995 im Rheineinzugsgebiet haben die Verantwortung tragenden Umweltminister der Europäischen Gemeinschaft die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) beauftragt, einen Aktionsplan für den Hochwasserschutz im Rheineinzugsgebiet aufzu-

stellen. Die Empfehlungen beinhalten als Elemente die Optimierung der Hochwassermeldedienste und der Hochwasservorhersage [IKSR, 1998].

Die Erkenntnisse aus dem Hochwasser an der Elbe vom August 2002 haben gezeigt, dass die Regelungen zur Vorsorge gegen Hochwasser grundsätzlich zu überprüfen sind [v. Kirchbach, 2002; BfG, 2002; LfUG, 2002; LfU LSA, 2002]. Infolge des Elbehochwassers wurde von der Bundesregierung am 15.09.2002 ein Programm mit dem Titel „Arbeitsschritte zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“ beschlossen [Rechenberg, 2005], das u.a. folgende Gesichtspunkte beinhaltet:

- Überprüfung der Entwicklungsbereiche für Siedlungszwecke und gewerbliche Nutzung in Bezug auf ihre Hochwasserkompatibilität
- Entwicklung von Konzepten zur Verminderung des Schadenspotenzials für bereits bebaute Flächen
- Gewährleistung einer rechtzeitigen und zuverlässigen Hochwasserwarnung und -vorhersage an allen Flüssen
- Erstellung von Handlungsanweisungen zur Schadensvermeidung bzw. -verminderung im Hochwasserfall
- Überarbeitung der betrieblichen Anforderungen in Überschwemmungsgebieten
- Überprüfung von landesrechtlichen Vorschriften zur Verhinderung von Öleinträgen aus Öltanks in hochwassergefährdeten Gebieten
- Verstärkung der Überwachung geltender Vorschriften
- Verstärkung der flussgebietsbezogenen und somit überregionalen Koordination der Maßnahmen zum vorbeugendem Umweltschutz
- Verbesserung der Einsatzkoordinierung von Hilfskräften (Feuerwehr, Technisches Hilfswerk usw.)
- Entwicklung von Koordinierungsinstrumentarien zur Verbesserung des Zusammenwirkens von Bund- und Länderbehörden

Über diesen Maßnahmenkatalog hinaus wurden folgende für dieses Forschungsvorhaben relevanten Punkte in einer Konferenz des BMU mit den Elbeländern am 4.9.2002 beschlossen:

- Überprüfung der Anforderungen an eine hochwassergerechte Ausführung von gefährlichen Anlagen
- Entwicklung von Hochwasserschutzmaßnahmen für Einrichtungen mit hohem Gefährdungspotenzial, die durch Deiche nicht geschützt werden
- Durchsetzung von Maßnahmen zur Sicherung von Öltanks in hochwassergefährdeten Gebieten
- Umsetzung der von der IKSE verabschiedeten Empfehlungen für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen in Hochwassergebieten
- Versorgung von Betrieben und Bevölkerung mit Informationen zur Sicherstellung von Vorsorgemaßnahmen und erforderlichen Verhaltensweisen

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden mit den Gefahrenquellen Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen weitere äußere Kräfte untersucht, die natürliche (Sturm, Erdbeben) oder anthropogene (Bergsenkungen) Ursachen haben. Dies erscheint umso notwendiger, weil auch durch derartige äußere Einflüsse, Anlagen mit gefährlichen Stoffen betroffen sein können. Wie die Entwicklung in den Schadensbilanzen der Versicherungen verdeutlicht, steigen die Schadenssummen und die Folgeschäden durch Naturkatastrophen deutlich an, da auch die Nutzungen immer hochwertiger werden (**Abbildung 1.1.2**).

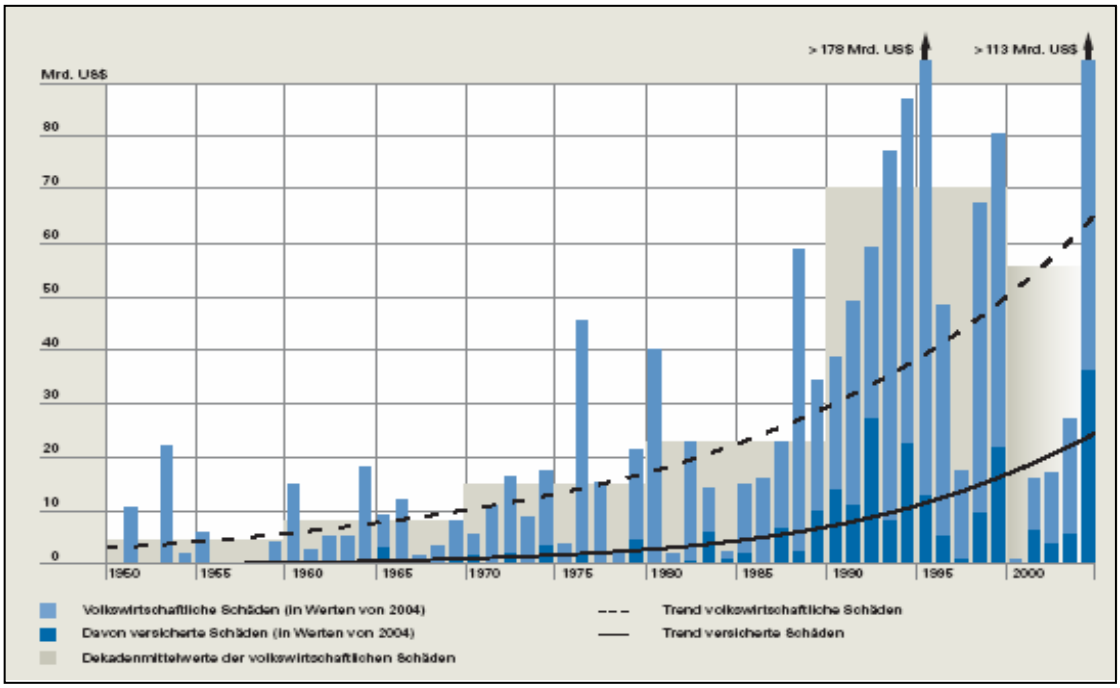



**Abbildung 1.1.2**: Volkswirtschaftliche und versicherte Schäden durch Naturkatastrophen [Münchener Rück, 2005]

Die Grafik in Abbildung 1.1.2 bezieht sich auf alle großen Naturkatastrophen (Hochwasser, Erdbeben, Sturm und sonstige Ereignisse) weltweit, bei denen es zu überregionalen Hilfsmaßnahmen kam. Weit über die Hälfte davon waren auf Überschwemmungen zurück zu führen. Zugleich lässt diese Grafik aufgrund der Häufung der Ereignisse in der letzten Dekade einen Hinweis auf klimatische Faktoren vermuten. Klimaforscher gehen derzeit davon aus, dass sich durch den Treibhauseffekt in den nächsten 100 Jahren die mittlere globale Lufttemperatur um 1,4 bis 5,8 ºC erhöhen wird [IPCC, 2001].

In Deutschland stellt sich die Situation, wie am Leipziger Institut für Meteorologie anhand historischer Aufzeichnungen festgestellt wurde, zumindest für die Elbe und die Oder nicht dramatisch dar. Innerhalb der letzten 80 – 150 Jahre wurde dort kein signifikanter Anstieg der Hochwasserauftrittsrate registriert [Blumensaat u. Seidel, 2005]. Ein stärker differenziertes Bild ergibt sich aus den Untersuchungen von Jonas, Staeger und Schönwiese vom Institut für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main [Jonas et. al., 2005; Schönwiese, 2005]. Auf der Basis der Auswertung von Niederschlagsdaten ergibt sich, dass die Trends in Deutschland sehr unterschiedlich sind. Die Analyse der Autoren zeigt bei den Niederschlagsereignissen, dass im Osten ein Trend zu seltenerem, im Westen einen Trend zu häufigerem Auftreten von Extremereignissen zu erkennen ist.

Welche Auswirkungen der Klimawandel auf die Wasserwirtschaft haben kann, wird derzeit in einem Forschungsvorhaben „KLIWA“ „Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ der Länder Bayern und Baden -Württemberg sowie des deutschen Wetterdienstes näher untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass in den beteiligten Bundesländern im Winter mit einer Zunahme von Häufigkeit und Dauer der Hochwasserbildung zu rechnen ist, während im Sommer keine größeren Änderungen zu erwarten sind [Hennegriff et. al., 2006].

Auf der Grundlage der Beschlüsse der Bundesregierung und der Konferenz des BMU mit den Elbeländern wurde vom Umweltbundesamt das Forschungsvorhaben „Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser“, FKZ 203 48 362 ausgeschrieben. Der Auftrag wurde in 2003 an das Ingenieurbüro Warm, Freilassing, in Kooperation mit dem Ingenieurbüro Dr. Köppke, Bad Oeynhausen, vergeben.

## 1.2 Aufgabenstellung

Das vom Umweltbundesamt ausgeschriebene Forschungsvorhaben verfolgt eine anlagenbezogene Zielsetzung. Im Grundsatz war die Frage zu beantworten, auf welche Weise Anlagen vor Umwelteinwirkungen optimal geschützt werden können. Der Begriff „Anlage“ umfasste dabei folgende drei Bereiche:

A) Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (§ 19g WHG), insbesondere Anlagen zum Umgang mit Heizölen und Kraftstoffen

B) Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern

C) Betriebsbereiche und deren Anlagen, die der 12. BImSchV unterliegen

Als Gefahrenquellen wurden neben Hochwasser auch Bergsenkungen, Erdbeben und Sturm vom Umweltbundesamt festgelegt. Während die Untersuchungen für die Gefahrenquelle Hochwasser für alle drei Bereiche (A, B und C) durchgeführt werden sollten, beschränkten sich die Untersuchungen für Bergsenkungen, Erdbeben und Sturm auf Anlagen, die der Störfall-Verordnung (12. BImSchV) unterliegen.

Die Arbeitsschritte gliederten sich in 4 Hauptpunkte:

1. Sachstandsanalyse
2. Projektevaluation
3. Ermittlung des Standes der Technik und von Nachrüstungsmöglichkeiten
4. Ergebnisse

### 1.2.1 Sachstandsanalyse

Im Rahmen der Sachstandsanalyse sollten im Einzelnen folgende Punkte untersucht werden:

a. Kenntnisstand über das Wirksamwerden der Gefahrenquelle

b. Stand der relevanten, gültigen Rechtsvorschriften und Regelwerke

c. Stand der bisher ergriffenen Maßnahmen gegen das Wirksamwerden

d. Stand der bisher vorgesehenen Maßnahmen bei Wirksamwerden

Zur Bearbeitung dieser Aufgabenstellungen wurden sogenannte „Modellregionen“ ausgewählt, aus deren Analyse grundsätzliche Überlegungen und Schlussfolgerungen abgeleitet werden sollten. Auf der Grundlage einer Vereinbarung zwischen dem UBA sowie den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen wurden diese Modellregionen in den genannten Bundesländern ausgewählt. Der Begriff „Modellregion“ konnte einzelne Betriebsbereiche oder auch ganze Produktionsstandorte sowie Wohnsiedlungen umfassen. Auf die Untersuchungen von kommunalen Kläranlagen, die im Einzugsgebiet der Flüsse liegen, wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens verzichtet, weil damit der Bearbeitungsumfang gesprengt worden wäre. Für die ausgewählten Modellregionen sollten im Einzelnen folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

- Inwieweit wurden Gebiete von den Behörden ermittelt, die von einer Überschwemmung betroffen wurden oder betroffen werden könnten?
- Welche Kriterien wurden hierbei angelegt (z.B. auch Versagen von Deichen)?
- Inwieweit wurden Betriebsbereiche und relevante Anlagen sowie relevante Daten hierzu ermittelt?
- Inwieweit wurden mögliche Schäden an und Gefahren durch Betriebsbereiche und relevante Anlagen ermittelt?
- Welche grundsätzlichen Defizite liegen ggf. vor?

Neben den sich aus der Beantwortung der oben aufgeführten Fragestellungen ergebenden Informationen waren auch die bislang gültigen technischen und gesetzlichen Anforderungen, wie z.B.

- Verordnungen, Verwaltungsvorschriften, technische Regelwerke sowie private Vorschriften,
- einschlägige Empfehlungen der Flussgebietskommissionen sowie
- praktisch angewandte Kriterien und Verfahren

bezüglich der Gefahrenquelle Hochwasser zu prüfen. Hierauf aufbauend war eine Defizitanalyse in den Modellregionen durchzuführen. Sie beinhaltete eine Prüfung der Umsetzung der technischen und ordnungsrechtlichen Anforderungen durch

- Auswertung von Unterlagen sowie
- Begehungen von Betriebsbereichen und Anlagen in Abstimmung mit den zuständigen Behörden und Betreibern.

Die Sachstandsanalyse bzgl. der Gefahrenquellen Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen konzentrierte sich auf

- Untersuchungen zu möglichen Einwirkungen,
- Zusammenstellungen von Vorgaben in einschlägigen Rechtsvorschriften und Regelwerken sowie den
- Vergleich mit der praktischen Umsetzung.

Die Sachstandsanalyse schloss mit der Untersuchung der bestehenden Maßnahmen für Notfälle sowie der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung ab. Diese Bestandsaufnahme umfasste die öffentlichen, nicht staatlichen sowie die betreibereigenen Vorbereitungen bzgl. des Wirksamwerdens der Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm und Erdbeben (Sturm und Erdbeben nur für Betriebsbereiche und Anlagen nach StörfallV).

### 1.2.2 Projektevaluation

Im Rahmen des 2. Arbeitsschrittes erfolgte eine Projektevaluation. Hier wurden die Ergebnisse der Sachstandsanalyse vorgestellt und mit einem Forschungsbegleitkreis diskutiert.

### 1.2.3 Ermittlung des Standes der Technik und von Nachrüstungsmöglichkeiten

Bezüglich der Gefahrenquelle Hochwasser war der Stand der Technik

- zur Vermeidung des Wirksamwerdens gegen Hochwasser, z.B. durch mobile Schutzeinrichtungen,
- zum Schutz gegen die Freisetzung von gefährlichen Stoffen sowie
- zur Verminderung der Umweltbelastung im Falle der Freisetzung von Stoffen

darzustellen. In diesem Zusammenhang wurden auch Fragen für die Betriebsbereiche nach Störfall-Verordnung bezüglich der Gefahrenquellen Erdbeben, Bergsenkungen und Sturm erörtert. Beispielsweise war die Frage zu klären, ob Möglichkeiten der technischen Nachrüstung für die genannten Anlagen bestehen.

Neben den technischen Aspekten zur Vorsorge sowie zur Vermeidung und Verminderung von Schadstoffausträgen waren auch organisatorische Strukturen zur Gefahrenabwehr zu untersuchen. In diesem Zusammenhang waren u.a. folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Verfahren und Strukturen zur Vorhersage gibt es und wie können die Betreiber darin eingebunden werden?
- Welche Verfahren und Strukturen zur Alarmierung gibt es und wie können die Betreiber darin eingebunden werden?
- Welche Verfahren zur Sicherung und Bergung von Gefahrstoffen sind einsetzbar?
- Welche technischen und organisatorischen Vorkehrungen haben die Betreiber zu treffen, damit interne und externe Maßnahmen effektiv zusammenwirken?

### 1.2.4 Ergebnisse

Aus den Arbeitsergebnissen sollten konkrete Vorschläge für rechtliche, technische und organisatorische Anforderungen abgeleitet werden. Hierzu zählten im Einzelnen:

- Vorschläge für Fortschreibung von rechtlichen und technischen Normen
- Vorschläge für die Verbesserung des technischen Hochwasserschutzes
- Aufzeigen von Forschungs- und Entwicklungsbedarf
- Ausarbeitung von Mustern und Hilfsmitteln (Planungen für Notfälle, interne Alarm- und Gefahrenabwehrpläne für Betriebsbereiche nach StörfallV, Notfallpläne für Anlagen nach § 19g WHG, Hilfsmittel für den Vollzug der StörfallV)
- Hilfsmittel für den Vollzug betreffend der sonstigen, betrachteten Anlagenarten
- Mittel für die Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Anlagen nach § 19g WHG und Hochwasser

# 2 Zusammenfassung

Als Folge des Hochwassers 2002 an der Elbe beschloss die Bundesregierung am 15.09.2002 ein Programm mit dem Titel „Arbeitsschritte zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“. Mit dem vom Umweltbundesamt ausgeschriebenen Forschungsvorhaben war vor diesem Hintergrund der anlagenbezogene Hochwasserschutz bzgl. möglicher Defizite näher zu untersuchen, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Beseitigung dieser Defizite abzuleiten. Darüber hinaus waren mit den Gefahrenquellen Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen weitere äußere Gefahrenquellen zu betrachten, die natürliche (Sturm, Erdbeben) oder anthropogene (Bergsenkungen) Ursachen haben. Im Grundsatz war die Frage zu beantworten, auf welche Weise Anlagen vor Umwelteinwirkungen optimal geschützt werden können. Der Begriff „Anlage“ umfasste dabei folgende drei Bereiche:

A) Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 19g WHG (VAwS-Anlagen), insbesondere Anlagen zum Umgang mit Heizölen und Kraftstoffen

B) Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern

C) Betriebsbereiche und deren Anlagen, die in den Anwendungsbereich der 12. BImSchV fallen

Während die Untersuchungen für die Gefahrenquelle Hochwasser für alle drei Bereiche (A, B und C) durchgeführt werden sollten, beschränkten sich die Untersuchungen bzgl. der Gefahrenquellen Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen auf Betriebsbereiche, die der Störfall-Verordnung (12. BImSchV) unterliegen. Um mögliche Defizite aufzudecken, wurden für eine Sachstandsanalyse folgende Modellregionen in den Ländern Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Sachsen ausgewählt:

<u>Modellregionen in NRW:</u>

Emmerich mit den ortsansässigen Chemieunternehmen KAO Chemicals, AKZO und Uniqema (Hochwasser)
Industriepark Leverkusen (Hochwasser)
Luftzerlegungsanlage in Stolberg der Linde AG (Erdbeben)
Chemiepark Marl (Bergsenkungen)

Modellregionen in Sachsen-Anhalt:

Schirm AG, Division Hermania in Schönebeck (Hochwasser)
Chemiepark Bitterfeld/Wolfen, Bayer Bitterfeld GmbH, (Hochwasser)
Stadt Dessau (Hochwasser)

Modellregionen in Sachsen:

Fluorchemie in Dohna (Hochwasser)
Stadt Dresden (Hochwasser)

Auf der Basis der Sachstandsanalyse sowie der Analyse der rechtlichen und technischen Grundlagen zum anlagenbezogenen Hochwasserschutz wurden zahlreiche Defizite erkannt und Empfehlungen ausgearbeitet, die im Folgendem zusammengefasst werden.

## 2.1 Situationsbeschreibung für die Gefahrenquelle Hochwasser

Zum Einstieg in die Gesamtproblematik ist in **Abbildung 2.1.1** die Situation grafisch beschrieben, wie sie sich in fast allen untersuchten Modellregionen dargestellt hat. Das Überschwemmungsgebiet, wie es im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) definiert ist, ist primär das Gebiet zwischen Uferlinie und öffentlichem Deich, der für ein bestimmtes Schutzziel bemessen wurde. Dieses Schutzziel basiert auf einem behördlich festgelegten Bemessungshochwasser. Das Schutzziel orientiert sich u.a. am Schadenspotenzial hinter dem Deich sowie an den örtlichen Gegebenheiten entlang eines Flusses. In der Praxis variieren die Schutzziele für Bemessungshochwässer zwischen $HQ_{100}$ bis $HQ_{500}$.

Hinter dem Deich befindet sich das überschwemmungsgefährdete Gebiet, das nach der Definition im WHG im Falle eines höheren Hochwassers z.B. höher als $HQ_{100}$ oder im Falle eines Deichbruchs überschwemmt wird, wobei die Bemessungsgrundlage für die Ermittlung des überschwemmungsgefährdeten Gebietes bislang vom Gesetzgeber nicht festgelegt wurde.

Im Bereich eines Industriegebietes ist der öffentliche Deich unterbrochen. Dort sowie im Stadtgebiet hinter dem Deich liegen Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung, VAwS-Anlagen sowie Flüssiggasbehälter.

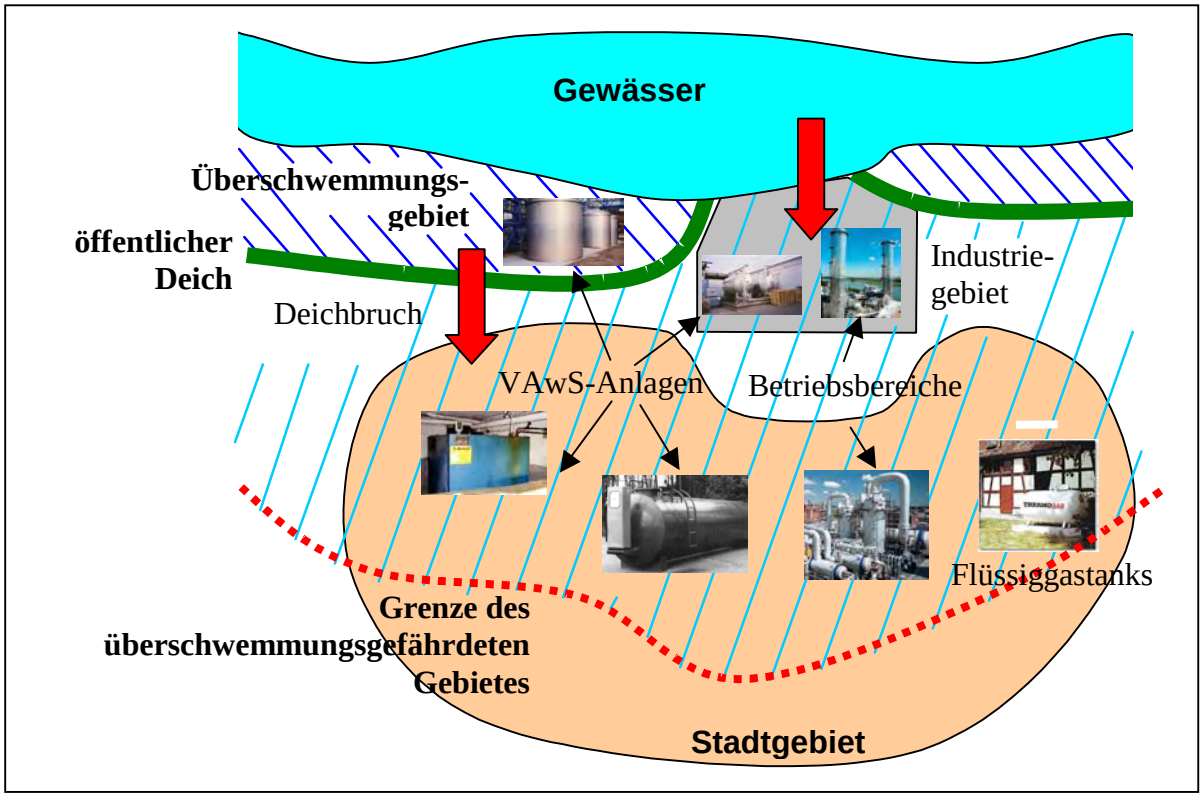



**Abbildung 2.1.1**: Darstellung der Gesamtsituation zum Hochwasserschutz

Aus dieser einfachen Grafik, die aus den Untersuchungen in den Modellregionen abgeleitet ist, ergeben sich folgende grundlegende Fragestellungen:

1. Auf welcher Bemessungsgrundlage soll im Wasserrecht das überschwemmungsgefährdete Gebiet festgelegt werden?
2. Welche materiellen Anforderungen ergeben sich hieraus für bestehende und neue VAwS-Anlagen mit besonderem Blick auf den privaten Bereich?
3. Auf welcher Bemessungsgrundlage müssen Betreiber im Rahmen ihrer Eigenvorsorge Maßnahmen ergreifen, um ihre neuen oder bestehenden Betriebsbereiche, die der Störfall-Verordnung unterliegen, zu schützen?
4. Welche materiellen Anforderungen sind an Betriebsbereiche zu stellen?
5. Welche materiellen Anforderungen sind an Anlagen zur Flüssiggaslagerung zu stellen, die nicht der Störfall-Verordnung unterliegen?

Zum Verständnis der Gesamtproblematik ist anzumerken, dass VAwS-Anlagen dem Wasserrecht und Betriebsbereiche der Störfall-Verordnung unterliegen. Flüssiggaslager sind unterhalb einer Menge von 3 t bzw. 5 $m^3$ mit Ausnahme in NRW nicht

anzeigepflichtig. Desweiteren ist zu beachten, dass VAwS-Anlagen und Flüssiggaslager auch Teile von Betriebsbereichen sein können.

Aufgrund der konkurrierenden Gesetzgebung waren in Hinblick auf die Aufgabenstellungen sowohl die wasserrechtlichen Grundlagen (WHG und Landeswassergesetze), das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), die Störfall-Verordnung sowie die einschlägigen Regelwerke bzgl. der Implementierung von Anforderungen zum Hochwasserschutz zu prüfen.

## 2.2 Ergänzungs- und Novellierungsbedarf der rechtlichen Grundlagen zum Hochwasserschutz

### 2.2.1 Bemessungsansatz für die Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten

Mit der Verabschiedung des Artikelgesetzes am 3. Mai 2005 wurde im Wasserhaushaltsgesetz der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ eingeführt. Hierbei handelt es sich um Gebiete, die im Falle eines Deichversagens (Deichbruch) oder durch ein Hochwasser, das größer als das Bemessungshochwasser $HQ_{100}$ ist, überschwemmt werden können. Die untersuchten Bundesländer Sachsen und Sachsen-Anhalt haben diese Vorgabe des WHG in ihre Landeswassergesetze übernommen, wobei letztere noch in einigen Detailpunkten an das WHG angepasst werden müssen. In NRW wird eine Novellierung des Landeswassergesetzes im Sinne des neuen WHG derzeit vorbereitet.

In der Diskussion befindet sich noch die Festlegung des Bemessungshochwassers, das die Grundlage zur Ermittlung der überschwemmungsgefährdeten Gebiete bilden soll. Grundsätzlich sind zu Festlegung des Bemessungshochwassers 2 Ansätze denkbar:

1. Bundeseinheitlicher Bemessungsansatz von z.B. $HQ_{200}$ oder $HQ_{300}$. Ein solcher Pauschalansatz berücksichtigt nicht, dass das Schadensausmaß z.B. im Falle eines Deichbruchs an den Flüssen sehr unterschiedlich ist. Vor diesem Hintergrund wird ein bundeseinheitlicher Pauschalansatz nach Auffassung der Berichterstatter der Notwendigkeit der Berücksichtigung von örtlichen Gegebenheiten nicht gerecht.

2. Festlegung eines Bereiches zur flexiblen Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten, wobei der untere Bereich durch das WHG mit einem Bemessungshochwasser von $HQ_{100}$ festgelegt ist. Für die obere Grenze des Bereichs sind 2 Alternativen zu betrachten:

   Alternative 1 — Ermittlung der Flächen nach dem Vorbild des Landeswassergesetzes von Sachsen-Anhalt

   In § 98a WG-LSA ist das höchste beobachtete Hochwasser zu Grunde zu legen, mindestens jedoch ein $HQ_{100}$.

   Alternative 2 — Anpassung an die von den Behörden festgelegten Schutzziele zur Bemessung von öffentlichen Deichen

   In Nordrhein-Westfalen wird ein angepasstes Schutzziel für öffentliche Deiche vorgegeben, so dass für den Niederrhein z.B. auf der Höhe Düsseldorf ein $HQ_{200\text{-}300}$ und auf der Höhe Emmerich ein $HQ_{500}$ anzusetzen ist.

Die Berichterstatter empfehlen, die Festlegung eines Bemessungsbereiches für die Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten, weil hiermit eine flexible Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten mit den verschiedenen Schutzgütern und dem damit verbundenen Schadenrisiko möglich ist (Risikoproportionalität). Je höher das Schadenspotenzial, desto höher wird auch das Schutzziel zur Bemessung von öffentlichen Deichen von den Behörden festgelegt. Weil sich diese Vorgehensweise in der Praxis bewährt hat, empfehlen die Gutachter einen Bemessungsbereich für überschwemmungsgefährdete Gebiete von $HQ_{100}$ bis $HQ_{500}$. Die Orientierung an vergangenen Hochwasserereignissen ist vor dem Hintergrund der Erfahrung immer neuer Höchstwasserstände und der Abschätzungen von Klimaforschern und Wasserbauern für zukünftig zu erwartende Ereignisse wenig hilfreich. Obwohl die Festlegung des Bemessungsansatzes unmittelbar nur für VAwS-Anlagen, für die die Anforderungen durch das WHG bzw. die Landeswassergesetze geregelt werden, von Bedeutung ist, werden auch Betriebsbereiche, die der Störfall-Verordnung unterliegen, indirekt davon betroffen, wie in Kapitel 2.2.5 dargelegt wird.

Den Berichterstattern ist bewusst, dass mit diesem Vorschlag, z.B. am Niederrhein, große Flächen erfasst würden. Bei der Diskussion hierüber ist zu berücksichtigen, dass für NRW ein Kartenmaterial für überschwemmungsgefährdete Gebiete erarbei-

tet wurde (Stand 2003), das landesweit für ein $HQ_{100}$, für den Rhein jedoch auf Basis eines $HQ_{500}$ ermittelt wurde [www.lanuv.nrw.de]. Ähnliches hat die IKSR mit dem Rheinatlas vorgelegt. Insofern wird mit dem in diesem Bericht vorgeschlagenen örtlich angepassten Bemessungsansatz die betroffene Fläche gegenüber denjenigen in den schon vorliegenden Karten für zahlreiche Gebiete am Rhein erheblich verkleinert.

Die Überlegung, einen Pauschalansatz von $HQ_{100}$ für die Ermittlung der überschwemmungsgefährdeten Gebiete anzusetzen, widerspricht den tatsächlichen Gegebenheiten sowie der Vorgabe im § 31c WHG. Deiche sind in bestimmten Bereichen bis zu einem Schutzziel von $HQ_{500}$ schon realisiert. Folglich muss ein Deichbruch auch für ein $HQ_{500}$ betrachtet werden. Zudem wurde ein $HQ_{100}$ während des Hochwassers 2002 an der Elbe schon überschritten.

Der mit diesem Forschungsvorhaben unterbreitete Vorschlag zur Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten ist somit die konsequente Schlussfolgerung aus den rechtlichen Vorgaben und des in der Praxis realisierten Hochwasserschutzes für öffentliche Deiche.

Neben der Festlegung eines Bemessungshochwassers ist auch die Methodik zur Ermittlung der Pegelstände vor Ort im Falle eines Deichbruchs von entscheidender Bedeutung für die Bemessung der Größe der überschwemmungsgefährdeten Gebiete. Hierzu gibt es zwei Varianten:

Variante A) Die einfachste Variante ergibt sich aus dem Bemessungshochwasser in $m^3$/sec in Verbindung mit der örtlichen Flussmorphologie. Beide Faktoren bestimmen den örtlichen Pegelstand der Hochwasserwelle. Die horizontale Verschneidung dieser Pegelhöhe mit dem Gelände hinter den öffentlichen Schutzeinrichtungen ergibt die Fläche des überschwemmungsgefährdeten Gebietes. Diese Methodik zur Bestimmung der betroffenen Fläche ist relativ einfach. Sie kommt der Realität dann sehr nahe, wenn ein Deichbruch bei Bemessungshochwasser nur geringe Wirkung auf den Pegel des Hochwassers hat. Eine deutliche Überschätzung ist nur dann gegeben, wenn die Entlastung durch den Deichbruch eine Absenkung des Hochwasserpegels bewirken würde. Genau dieser Fall, wird bei der Variante B berücksichtigt.

Variante B) Bei dieser Variante wird zuerst die Wirkung eines Deichbruchs auf die Pegelhöhe in jedem Flussabschnitt bei dem jeweiligen Bemessungshochwasser bestimmt. Erst die nachfolgende horizontale Verschneidung der auf diese Weise ermittelten Pegelhöhe mit dem Gelände ergibt wiederum die Fläche des überschwemmungsgefährdeten Gebietes. Diese Variante ist sehr viel aufwendiger, da sie einer Modellierung der Wirkung eines Deichbruchs für den jeweiligen Flussabschnitt bedarf.

Soll eine Obergrenze für die Festlegung überschwemmungsgefährdeter Gebiete gemäß § 31c WHG festgesetzt werden, so bietet sich die Variante A an, da sie einfacher und konservativ ist. Den Wasserbehörden (und ggf. den Betreibern von Betriebsbereichen) kann ermöglicht werden, engere Grenzen von überschwemmungsgefährdeten Gebieten festzusetzen bzw. anzunehmen, wenn diese im Einzelnen nach Variante B ermittelt wurden (Einzelfallnachweis).

### 2.2.2 Anpassung der VAwS-Anlagenverordnungen an das WHG

Aus den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen ergeben sich folgende Vorschläge zur Anpassung der VAwS-Anlagenverordnungen an die Vorgaben des WHG:

1. Hochwassersichere Errichtung von neuen Ölheizungsanlagen

   Die bislang gestellten Anforderungen an VAwS-Anlagen in Überschwemmungsgebieten sollten nach Auffassung der Gutachter durch die Übernahme der Empfehlungen der Flussgebietskommissionen IKSE und IKSR, die speziell für die Lagerung von wassergefährdenden Stoffen im Hochwasserfall erarbeitet wurden, erweitert werden. Die Empfehlungen der IKSE umfassen nicht nur die bautechnischen Anforderungen, sondern auch Maßnahmen im Hochwasserfall, wie z.B. das Entleeren von offenen Behältern. Darüber hinaus zeigt der Vergleich der verschiedenen VAwS-Anlagenverordnungen, dass derzeit relevante Anforderungen nicht ausreichend konkretisiert sind.

2. Nachrüstung von vorhandenen privaten Heizölanlagen

   Die bisherigen Regelungen zur Durchsetzung neuer Anforderungen für bestehende Anlagen sind in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich. In einigen Ländern muss die Nachrüstung auf behördliche Anordnung, in anderen Ländern im Rahmen der Eigenvorsorge durch die Betreiber selbst veranlasst werden. Aufgrund des seit einigen Jahren durchgeführten Personalabbaus können die Vollzugsbehörden der Länder kaum noch neue Anforderungen durch eine behördliche Anordnung auf der Basis von Einzelfallentscheidungen für die große Zahl der privaten Heizölanlagen durchsetzen. Daher empfehlen die Berichterstatter, die Umsetzung neuer Anforderungen durch Sachverständige im Rahmen von wiederkehrenden Prüfungen feststellen zu lassen.

3. Verbot der Errichtung neuer Heizölanlagen, soweit zur Schadenverminderung erforderlich, in überschwemmungsgefährdeten Gebieten.

### 2.2.3 Mögliche Anforderungen an Anlagen und Betriebsbereiche in überschwemmungsgefährdeten Gebieten

#### 2.2.3.1 VAwS-Anlagen sowie Aspekte eines Deichversagens

Nach § 31b WHG wird bestimmt, dass der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Überschwemmungsgebieten zu regeln ist. Die Berichterstatter halten es für sinnvoll, für mögliche Anforderungen an VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten eine analoge Formulierung in § 31c WHG einzufügen.

Für die Ermittlung von „überschwemmungsgefährdeten Gebieten“ legt das WHG in § 31c das Versagen von öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen zugrunde. Ein Deichversagen kann durch Deichbruch oder Deichüberspülung eintreten. Diese Fallunterscheidung bietet einen Ansatz für die Ableitung von Anforderungen an VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten.

Das Risiko eines Deichbruchs ist, wie die Erfahrungen aus zahlreichen Hochwasserereignissen zeigen, im Wesentlichen von der Deichqualität abhängig. Diese hängt

wiederum von zahlreichen Einflussfaktoren ab, wie z.B. den Untergrundverhältnissen, der bautechnischen Ausführung, der Belastungsdauer usw. aber auch von Faktoren, wie z.B. der Rissbildung bei Trockenzeiten, der Beschädigung durch Wurzelwerk oder Nagetierbefall. Aufgrund der Komplexität der Erfassung aller relevanten Einflussparameter zur Bewertung der Deichqualität ist nur die Unterscheidung zwischen DIN-gerechten Deichen und Deichen, die nicht der DIN 19 712 „Flussdeiche“ entsprechen (Altdeiche), für den Gesetzgeber belastbar. Das Risiko eines Deichbruchs ist, wie die letzten großen Hochwasserereignisse gezeigt haben, bei einem Altdeich wesentlich größer als bei einem DIN-gerechten Deich.

Unter der Voraussetzung, dass die Deichbruchgefahr bei DIN-gerechten Deichen praktisch gegen Null geht und das Restrisiko zu tolerieren ist, sind keine technischen und organisatorischen Anforderungen an VAwS-Anlagen erforderlich. Bei nicht DIN-gerechten Deichen ist das Risiko eines Deichbruchs, wie die Ereignisse im Jahr 2002 gezeigt haben, wesentlich höher. Das Gefährdungspotenzial für VAwS-Anlagen ist somit deutlich höher und kann nach Auffassung der Berichterstatter nicht mehr akzeptiert werden. In diesem Falle sind die VAwS-Anlagen hinter dem öffentlichen Deich fast genauso gefährdet wie diejenigen vor dem Deich. Somit sind konsequenterweise auch die gleichen technischen Anforderungen zu stellen. Weil nicht vorausgesagt werden kann, wann und wo ein Deichbruch eintreten kann, muss davon ausgegangen werden, dass keine ausreichende Vorwarnzeit besteht, um organisatorische Maßnahmen, wie z.B. das Auslagern von Stoffen, durchzuführen. Aus diesem Grunde können auch die organisatorischen Maßnahmen nicht als gleichwertig zu den technischen Maßnahmen angesehen werden.

Grundsätzlich ist für den Fall eines Deichbruchs festzustellen, dass Anforderungen, die an private und gewerbliche Anlagen in Abhängigkeit von der Qualität öffentlicher Deiche festgelegt wurden, ein erhebliches Konfliktpotenzial in sich bergen, weil die betroffenen Anlagenbetreiber in diesem Falle immer auf die erforderliche Ertüchtigung der Altdeiche verweisen werden. Es ist leicht einsehbar, dass unter diesen Bedingungen, die Durchsetzung von Anforderungen mindestens erschwert, wenn nicht gar unmöglich gemacht wird. Vor diesem Hintergrund sollte der Gesetzgeber noch einmal kritisch hinterfragen, ob das Szenarium „Deichbruch“ für die Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten und damit für die Ableitung von möglichen Anforderungen an VAwS-Anlagen geeignet ist.

Im Falle der Gefahr einer Deichüberspülung ist das Gefährdungspotenzial für VAwS-Anlagen ausschließlich von der Höhe des Deiches abhängig und nicht mehr von der Deichqualität. Somit besteht mit der Deichhöhe ein eindeutiges und nachvollziehba-

res Kriterium zur Formulierung von Anforderungen. Je geringer die Jährlichkeit des Bemessungshochwassers für die Auslegung der Deiche angesetzt wird, desto geringer ist die Gefahr einer Überflutung der überschwemmungsgefährdeten Gebiete. Dieser einfache und pragmatische Ansatz bildete die Grundlage der VAwS-Anlagenverordnung des Landes Baden-Württemberg vom 11. Nov. 2005 für Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten. Die VAwS BW fordert zunächst den Stand der Technik für VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten. Die VAwS wählt dann jedoch die Anlagen aus, die in Abhängigkeit von der Jährlichkeit des Bemessungshochwassers, gegen Hochwasser zu schützen sind. Mit zunehmendem Hochwasserschutz durch öffentliche Deiche konzentrieren sich die Anforderungen auf Anlagen mit der höchsten Gefährdungsstufe. Diese ergibt sich aus der Wassergefährdungsklasse in Verbindung mit der gehandhabten Menge eines Stoffes. Die Risikoproportionalität ergibt sich aus der Gefährdungsstufe der Anlage und nicht aus einem abgestuften Technikniveau (**Abbildung 2.2.3.1.1**).

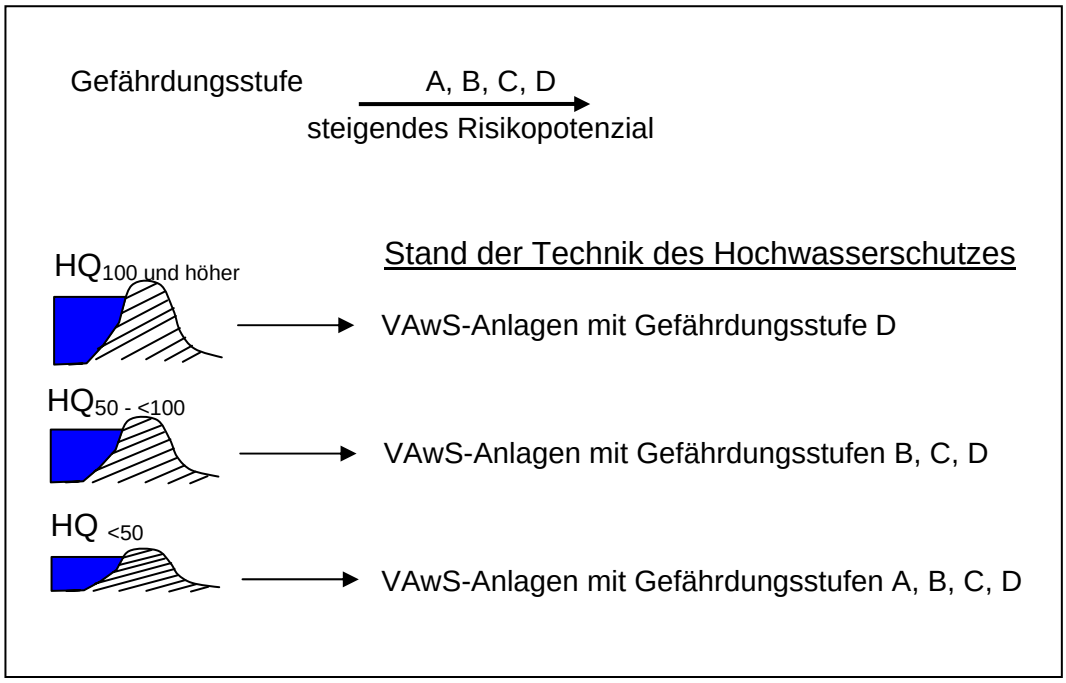



**Abbildung 2.2.3.1.1**: Zusammenhang zwischen Bemessungshochwasser und Anforderungen an die verschiedenen Gefährdungsklassen in der VAwS BW

Nach der VAwS von Baden-Württemberg kann der Betreiber die Anforderungen auch durch geeignete organisatorische Maßnahmen zum Hochwasserschutz erfüllen. Damit werden organisatorische Maßnahmen den technischen Anforderungen gleichgesetzt, wenn diese als geeignet zum Hochwasserschutz bewertet werden. Alle orga-

nisatorischen Maßnahmen setzen eine ausreichende Vorwarnzeit voraus. Diese ist in flacheren Regionen grundsätzlich eher gegeben als in Flusseinzugsgebieten mit größerem Gefälle. Aus den Erfahrungen, insbesondere nach dem Hochwasser 2002 an der Elbe mit ihren Nebenflüssen, wurden die Systeme zur Vorwarnung der Bevölkerung erheblich weiter entwickelt, so dass allein durch eine präzisere Wettervorhersage mit den entsprechenden Unwetterwarnungen die Vorwarnzeit für alle Regionen in Deutschland verlängert werden konnte. Zur Prüfung und Abstimmung der organisatorischen Maßnahmen mit den Katastrophenschutzplänen der Behörden ist nach Auffassung der Berichterstatter analog zu den Anforderungen der VAwS BW eine Darlegung in einem schriftlichen Konzept bzw. in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan erforderlich.

Für den Fall einer Deichüberspülung bietet die VAwS des Landes Baden-Württemberg einen praktikablen Ansatz für bundeseinheitliche Anforderungen an VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten.

#### 2.2.3.2 Betriebsbereiche gemäß der Störfall-Verordnung

Grundsätzlich ist zunächst festzustellen, dass in der Störfall-Verordnung unter § 3, Abs. 2, Nr. 2 die Berücksichtigung von umgebungsbedingten Gefahrenquellen, wie Hochwasser oder Erdbeben, expressis verbis festgelegt ist, ohne allerdings konkrete Anforderungen zum Schutz von Betriebsbereichen nach den Grundpflichten sowie den erweiterten Pflichten zu stellen. Ergänzende Hinweise hierzu enthält die im März 2004 vom BMU herausgegebene Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung. Nach dieser Vollzugshilfe zur Umsetzung der Störfall-Verordnung sollten bei der Erstellung eines Sicherheitsberichtes nach § 9 der StörfallV umgebungsbedingte, auch naturbedingte Gefahrenquellen insbesondere Hochwasser oder z.B. Erdbeben berücksichtigt werden.

Bzgl. der Gefahrenquelle Hochwasser hat die Störfall-Verordnung bislang keinen direkten Bezug zu den nach Wasserrecht definierten überschwemmungsgefährdeten Gebieten. Dennoch ist zu erwarten, dass mit der Kartierung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten die Betreiber von Betriebsbereichen stärker als bisher zur Prüfung der Hochwassergefahr verpflichtet sind, obwohl sich dies nur indirekt aus der Störfallfall-Verordnung ableiten lässt. Daher wird von den Berichterstattern vorgeschlagen, einen direkten Bezug zu den kartierten überschwemmungsgefährdeten

Gebieten in der Störfall-Verordnung zu verankern. Damit wäre auch gleichzeitig festgelegt, dass für Betriebsbereiche, die in diesen Gebieten liegen, die Gefahrenquelle Hochwasser grundsätzlich zu prüfen ist. Dabei sollte auch der Schutz des Betriebsbereiches vor Treibgut und Eisgang ausdrücklich genannt werden.

Weil für Betriebsbereiche, die nicht durch einen öffentlichen Deich (vgl. Abbildung 2.1.1) geschützt werden, bislang in der StörfallV keine Bemessungsgrundlage für Maßnahmen zum Hochwasserschutz besteht, schlagen die Berichterstatter vor, dass das Bemessungshochwasser zur Auslegung der öffentliche Deiche oberhalb und unterhalb des zu betrachtenden Betriebsbereichs heranzuziehen ist.

Analog der Diskussion bzgl. einer Stufung der Anforderungen an VAwS-Anlagen war auch für Betriebsbereiche zu prüfen, ob gestufte Anforderungen in Sinne einer Risikoproportionalität für Betriebsbereiche in überschwemmungsgefährdeten Gebieten einzuführen seien. Anders als im Wasserrecht wird ein Deichversagen als mögliche Gefahrenquelle in der Störfall-Verordnung nicht erwähnt. Dies bedeutet, dass zur Ableitung von geeigneten Maßnahmen zunächst eine Risikoanalyse durch z.B. probabilistische Methoden durchzuführen ist.

Für die Gefahrenquelle „Hochwasser“ sind im Einzelnen

- das Gefährdungspotenzial eines Deiches bei Hochwasser sowie
- das hieraus resultierende Gefährdungspotenzial für den Betriebsbereich im Falle eines Deichversagens

zu betrachten. In den Niederlanden wurde eine probabilistische Methode für das Gefährdungspotenzial von Hochwasserschutzeinrichtungen entwickelt, um in Abhängigkeit von zahlreichen Versagensursachen die Wahrscheinlichkeit einer Überflutung eines Polders abzuschätzen. Die probabilistische Methode ermöglicht eine Bewertung von menschlichem Versagen, z.B. das Unterlassen des Schließens eines Schleusentores, in Kombination mit einem strukturellen Versagen der Hochwasserschutzeinrichtungen. Dies wird von Fachleuten daher auch als besonderer Vorteil dieser Methode angesehen. Allerdings zeigte sich auch, dass mit der Durchführung der probabilistischen Methode zur Bewertung von Hochwasserschutzeinrichtungen ein sehr hoher Aufwand verbunden ist und daher nur auf ausgewählte Deichabschnitte anwendbar ist. In Deutschland wurden für Flussdeiche sowie weiteren öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen nach den Recherchen der Berichterstatter bislang keine derartigen Untersuchungen vorgenommen. Somit fehlt den Betreibern von Betriebsbereichen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, eine wesentliche

Grundlage zur Bewertung des Gefahrenpotenzials durch Hochwasser für ihren Betriebsbereich.

Aus diesem Grunde erscheint es sinnvoller, analog der Diskussion über VAwS-Anlagen auch für Betriebsbereiche Fallunterscheidungen vorzunehmen, die unter bestimmten Randbedingungen verallgemeinerbar sind. Folgende Fallunterscheidungen können vorgenommen werden:

- Lage des Betriebsbereiches hinter einem öffentlichen Deich oder direkt am Gewässer ohne den Schutz durch öffentliche Hochwasserschutzeinrichtungen (vgl. Abbildung 2.1.1)
- Deich nach DIN 19 712 oder nicht DIN-gerechter Deich

Auch bzgl. der Vorwarnzeiten kann eine Differenzierung vorgenommen werden. Bei Altdeichen, deren Standfestigkeit, wie die Ereignisse im Jahr 2002 belegen, unzureichend sein kann, muss aufgrund möglicher schnell eintretender Deichbrüche von einer nicht immer ausreichenden Vorwarnzeit ausgegangen werden. Die Gefahr einer Deichüberspülung und Überflutung des Geländes ist durch die mittlerweile eingerichteten Frühwarnsysteme und Informationsmittel ausgenommen für kritische Standorte, wie z.B. im Erzgebirge oder im Schwarzwald, frühzeitig erkennbar, so dass meist eine Vorwarnzeit von mehreren Stunden bzw. Tagen gegeben ist.

Aus dieser Fallunterscheidung, die in **Abbildung 2.2.3.2.1** grafisch dargestellt ist, können konkrete Maßnamen zur Sicherung von Betriebsbereichen gegen Hochwasser entwickelt werden. Weil eine Überspülung von Deichen vor dem Hintergrund des Klimawandels mit den einhergehenden starken Regenereignissen nicht ausgeschlossen werden kann, müssen grundsätzlich alle Betriebsbereiche in überschwemmungsgefährdeten Gebieten die Gefahren durch Hochwasser betrachten. Dies gilt unabhängig davon, ob die Betriebsbereiche den Grundpflichten oder den erweiterten Pflichten unterliegen. Die Gefahr eines Deichbruchs ist zudem für diejenigen Betriebsbereiche zu berücksichtigen, die hinter einem nicht DIN-gerechten Deich in einem überschwemmungsgefährdeten Gebiet liegen. Weil für derartige Anlagen keine ausreichende Vorwarnzeit anzunehmen ist, ist ein Schutz der Betriebsbereiche durch stationäre Maßnahmen erforderlich. Grundsätzlich denkbar ist auch die nasse Vorsorge, die jedoch praktisch kaum zum Einsatz kommt. Mobile Schutzsysteme sind für diesen Fall nur z.T. geeignet. Dies gilt auch für organisatorische Maßnahmen, wie z.B. das Auslagern von gefährlichen Stoffen.

Bei allen anderen Betriebsbereichen, also solchen, die nicht durch einen Deichbruch gefährdet werden können, kann der Stand der Sicherheitstechnik zum Hochwasserschutz sowohl durch technische als auch durch organisatorische Maßnahmen sichergestellt werden, soweit im Einzelfall von einer ausreichenden Vorwarnzeit hierfür ausgegangen werden kann.

Welche Maßnahmen im Einzelnen für den jeweiligen Betriebsbereich am günstigsten sind, muss für den Einzelfall geprüft werden. Hierzu ist es nach Auffassung der Berichterstatter notwendig, dass auch für Betriebsbereiche, die nur den Grundpflichten unterliegen, die Maßnahmen zum Hochwasserschutz in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan dargelegt werden, um die Prüffähigkeit durch die Behörden oder Sachverständige zu gewährleisten.

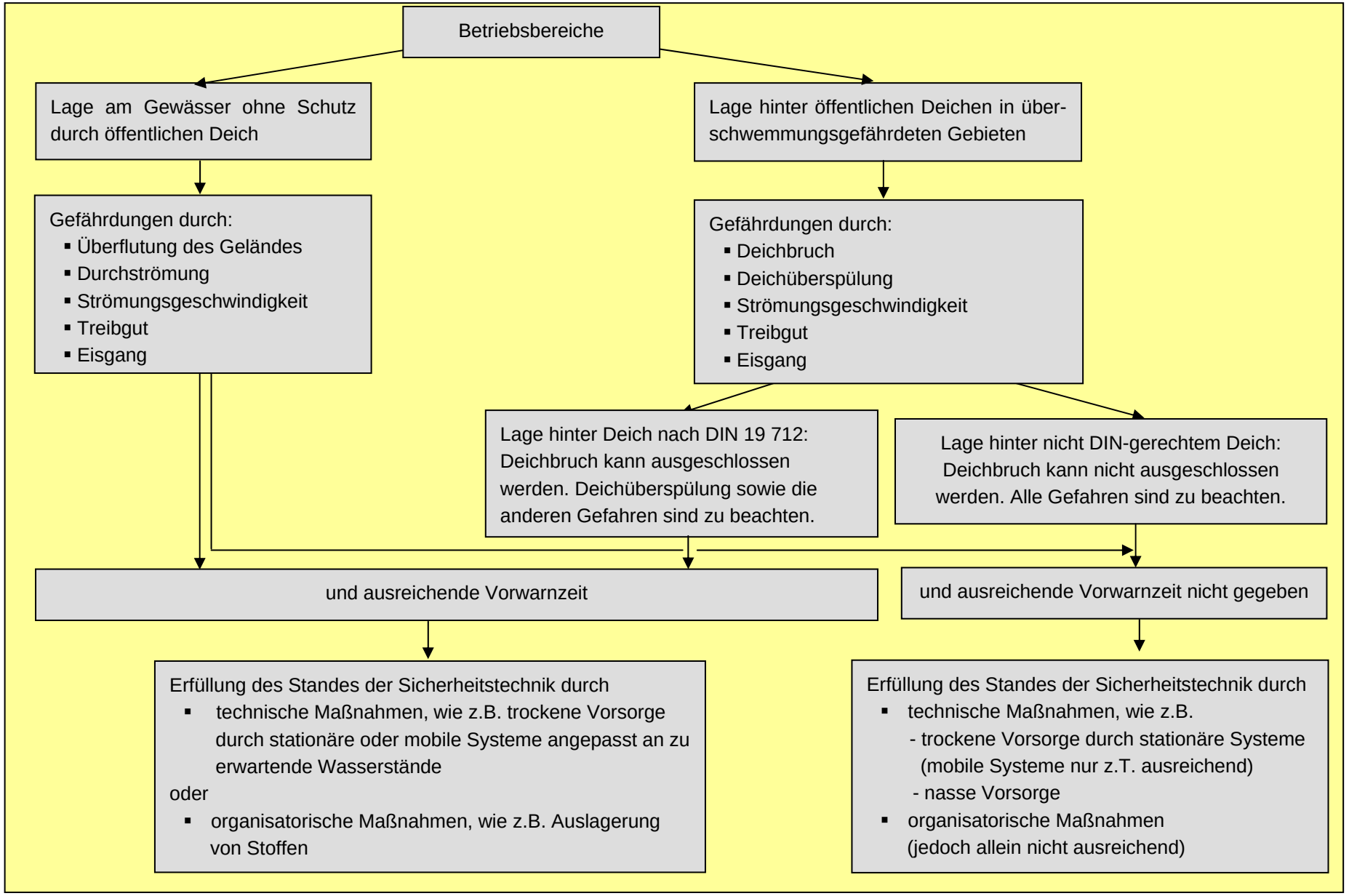



**Abbildung 2.2.3.2.1**: Fallunterscheidung zur Ableitung möglicher Anforderungen an Betriebsbereiche

Die in Abbildung 2.2.3.2.1 dargestellte Fallunterscheidung stellt, wie zuvor schon betont wurde, eine Verallgemeinerung dar, die auf plausiblen und nachvollziehbaren Unterscheidungsmerkmalen beruht. Der Gesetzgeber ist auf dieser Grundlage in der Lage, risikoproportionale Anforderungen zu formulieren. Dennoch muss davon ausgegangen werden, dass es Einzelfälle gibt, die von dieser Fallunterscheidung abweichen. Dies ist jedoch von den betroffenen Betreibern zu begründen. In diesen Fällen ist der Einzelfall bzgl. der Gefahrenquelle Hochwasser näher zu untersuchen.

Bemerkenswert ist, dass so lange die Überspülung eines Deiches nicht ausgeschlossen werden kann, die möglichen Anforderungen an Betriebsbereiche hinter DIN-gerechten Deichen identisch sind mit den Anforderungen an Betriebsbereiche ohne den Schutz durch öffentliche Deiche. Der einzige Unterschied besteht nur in der Höhe des zu erwartenden Wasserstandes.

Es wird darauf hingewiesen, dass die StörfallV bei ihrer Forderung zur Anwendung des Standes der Sicherheitstechnik zur Abwehr einer Gefährdung durch Hochwasser keinen Unterschied in Bezug auf unterschiedliche Gefährdungspotenziale in und von Betriebsbereichen macht.

### 2.2.3.3 Flüssiggasbehälter

Die Anforderungen zur Lagerung von brennbaren Gasen sind in den verschiedenen Regelwerken, wie z.B. der TRB 801 Nr. 25, dargestellt. Ab einer Masse von 50 t fallen sie in den Geltungsbereich der Störfall-Verordnung. Die Berichterstatter schlagen vor, in einer Verordnung die Anforderungen zum Hochwasserschutz an Flüssiggasbehälter analog den VAwS-Anlagen zu regeln. Die möglichen Anforderungen müssen bautechnische Massnahmen für die Auftriebssicherheit sowie Schutzeinrichtungen vor Treibgut und Eisgang umfassen.

Analog zur Fallunterscheidung nach Abbildung 2.2.3.2.1 mit den entsprechenden Randbedingungen sollte auch für Flüssiggaslager in Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten folgende Differenzierung der möglichen Anforderungen vorgenommen werden:

Anlagen hinter nicht DIN-gerechten Deichen:

| | |
|---|---|
| Gefahren durch: | Deichbruch |
| | Deichüberspülung |
| | Strömungsgeschwindigkeit |
| | Treibgut |
| | Eisgang |
| Anforderungen: | geeignete bautechnische Anforderungen |
| | alternativ: stationäre Maßnahmen, wie z.B. Hochwasserschutzwand |
| | nur z.T. ausreichend: mobile Schutzmaßnahmen |

Anlagen hinter DIN-gerechten Deichen sowie Anlagen ohne Schutz durch öffentliche Deiche:

| | |
|---|---|
| Gefahren durch: | Deichüberspülung |
| | Strömungsgeschwindigkeit |
| | Treibgut |
| | Eisgang |
| Anforderungen: | geeignete bautechnische Anforderungen |
| | alternativ: stationäre Maßnahmen, wie z.B. Hochwasserschutzwand sowie mobile Schutzmaßnahmen |

Organisatorische Maßnahmen, wie z.B. das Auslagern, sind bei Flüssiggasbehältern allein schon aus sicherheitstechnischen Gründen nicht möglich. Daher sind organisatorische Maßnahmen bei Flüssiggastankanlagen auch keine Alternative zu den technischen Maßnahmen.

Für Überschwemmungsgebiete und überschwemmungsgefährdete Gebiete ist zudem die Forderung zu erheben, die Lagerung von Flüssiggas in Kugelbehältern auf Stützen wegen der Gefahr der Beschädigung durch Treibgut zu untersagen. Die Berichterstatter empfehlen eine entsprechende Ergänzung in der Druckgeräteverordnung sowie in den neuen Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) zur Betriebssicherheitsverordnung aufzunehmen.

### 2.2.4 Erfassung von kleinen privaten Heizöltanks und Flüssiggasbehältern

Wie die Untersuchungen in den Modellregionen ergeben haben, ist die Erfassung von privaten Heizöltanks und Flüssiggasanlagen für die Vollzugsbehörden teilweise sehr schwierig. Private Heizöltanks unter 1.000 l unterliegen grundsätzlich keiner Anzeige- und Prüfpflicht und werden daher auch den Behörden nicht gemeldet. Anlagen in der Größe von 1.000 – 10.000 l unterliegen zwar einer Anzeigepflicht und Pflicht zu einmaligen Prüfung, werden aber den Behörden oftmals nicht gemeldet. Viele Heizölverbraucheranlagen sind zwar der zuständigen Baubehörde oder Stadt- bzw. Gemeindeverwaltung im Zuge von Baugenehmigungen gemeldet, die Wasserbehörden werden jedoch nicht darüber informiert.

Die Kenntnis der Wasserbehörden von Heizöltanks wird besonders dann relevant, wenn nach der Ausweisung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten die Anlagen, die in diesen Gebieten liegen, nicht mehr einer einmaligen, sondern einer wiederkehrenden Prüfungspflicht unterliegen. Diese Prüfung soll in der Regel alle 5 Jahre stattfinden.

Problematisch ist auch die Lagerung von Flüssiggas in kleinen Mengen. (Je nach Bundesland unter <5 m³ bzw. <3 t.) Da diese Anlagen keiner speziellen Genehmigungs- oder Anzeigepflicht unterliegen, ist von keiner Behörde festzustellen, wie viele Flüssiggaslagertanks in welcher Größe wo aufgestellt sind. Lediglich Nordrhein-Westfalen bildet hier eine Ausnahme, da dort eine Anzeigepflicht vorgeschrieben ist.

Die Berichterstatter empfehlen als Hilfe für den Vollzug die Umsetzung folgender Maßnahmen:

1. Meldepflicht für die Bauämter an die Wasserbehörden
2. Einführung einer Anzeigepflicht für Flüssiggasbehälter auch für kleine Anlagen (< 5 m³ bzw. < 3 t) durch die Länder
3. Ergänzung der 1. BImSchV – Verordnung für kleine und mittlere Feuerungsanlagen durch
   - Erweiterung der Begriffsbestimmung einer Feuerungsanlage durch den Einschluss von Tankanlagen in § 2 der 1. BImSchV,
   - Einführung einer Anzeigepflicht für Öl- und Gasfeuerungsanlagen in § 7 der 1. BImSchV

Neben diesen Empfehlungen sind derzeit keine weiteren Hilfsmittel für den Vollzug sinnvoll, weil die VAwS-Anlagenverordnungen der untersuchten Länder noch nicht an die Vorgaben des WHG angepasst sind.

## 2.3 Fortschreibung von Verordnungen und technischen Regelwerken für die Gefahrenquelle Hochwasser

Eine intensive Sichtung der einschlägigen Regelwerke für Anlagen bzw. Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung ergab, dass es nur sehr vereinzelte Hinweise oder Festlegungen bzgl. der Auslegung von Anlagen oder Anlagenkomponenten gegen Hochwasser gibt. Die vorhandenen Regelwerke und Verordnungen sind zur Gewährleistung eines adäquaten Hochwasserschutzes als Grundlage für die Planung und den Betrieb von Anlagen daher als unvollständig und unzureichend zu bewerten. Ein übergreifendes technisches Regelwerk zum Hochwasserschutz für Anlagen und Betriebsbereiche gibt es nicht. Auf der Grundlage der vorgenommenen Sachstandsanalysen und der Darlegungen zum Stand der Technik lassen sich keine direkten Vorschläge für eine übersichtliche Fortschreibung vorhandener Regelwerke ableiten. Daher wird von den Verfassern dieses Forschungsberichtes empfohlen, ein gesondertes neues Regelwerk zum Hochwasserschutz für die Auslegung und zum Betrieb von sicherheits- und umweltrelevanten Komponenten in Betriebsbereichen gemäß der StörfallV, den Anlagen nach § 19g WHG sowie Anlagen zur Lagerung von Flüssiggas zu erstellen, welches auch übergreifend ganze Anlagenkomplexe erfassen sollte.

## 2.4 Sachstandsanalyse in den Modellregionen

Die Sachstandsanalyse in den einzelnen Modellregionen kann im Sinne einer grundsätzlichen Analyse wie folgt zusammengefasst werden:

1. Entscheidungsstrukturen

   Die Entscheidungsstrukturen innerhalb der Chemieparks sind sehr unterschiedlich. Während in Leverkusen eine Entscheidungsebene (übergreifende Organisation der Bayer Industry Services) für den gesamten Standort vorhanden ist, gibt es diese zentrale Entscheidungsebene für den Industriepark

in Bitterfeld nicht. Infolgedessen wurde schon vor Jahrzehnten eine zentrale Leitstelle für den Katastrophenschutz in Leverkusen eingerichtet. Für den hier betrachteten Fall eines Hochwasserereignisses werden von der Leitstelle alle Informationen erfasst, ausgewertet und die notwendigen Entscheidungen getroffen. Es existiert neben dem standortbezogenen Alarm- und Gefahrenabwehrplan ein separater Alarm- und Gefahrenabwehrplan nur für Hochwassergefahren, in welchem alle erforderlichen Informationen zur Bekämpfung von Hochwassergefahren dargelegt sind. Ähnliche Leitstellen gibt es in allen größeren Chemiestandorten, deren einzelne Betriebe einem Konzern zuzuordnen sind, wie z.B. bei der BASF in Ludwigshafen. Die einzelnen Betriebsbereiche, die den erweiterten Pflichten unterliegen, verfügen darüber hinaus noch über einen betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplan, der bezogen auf den betrachteten Betriebsbereich die erforderlichen Maßnahmen beschreibt.

Der Chemiepark Bitterfeld ist dagegen von Anfang an als Summe einzelner Betriebe strukturiert worden. Eine übergeordnete Entscheidungsebene für den Gesamtstandort ist nie vorgesehen gewesen. Daher gibt es auch keine zentrale Leitstelle, die z.B. im Hochwasserfall die erforderlichen Maßnahmen koordinieren kann. Aufgrund des Fehlens dieser Strukturen gibt es auch keinen standortbezogenen Alarm- und Gefahrenabwehrplan, auch nicht hinsichtlich der Bekämpfung von Hochwassergefahren.

Die Entscheidungsstrukturen in kleineren und mittleren Unternehmen sind grundsätzlich übersichtlich, jedoch liegen oftmals keine ausreichenden Alarm- und Gefahrenabwehrpläne bzgl. Hochwasser vor.

2. Handeln im Hochwasserfall

Wie die Analyse der Maßnahmen der Werksleitungen der untersuchten Betriebe in den ausgewählten Modellregionen während des Augusthochwassers 2002 gezeigt hat, ist bei keinem Unternehmen ein gravierender Fehler bzgl. der technischen und organisatorischen Maßnahmen erkennbar. Alle ergriffenen Maßnahmen können als vorausschauend und zielorientiert bewertet werden.

3. Informationsfluss und Planungen

Die Befragung von Augenzeugen während des Hochwasserereignisses 2002 ergab, dass während dieser Tage zahlreiche Maßnahmen wegen eines unzureichenden Informationsaustausches zwischen Anlagenbetreibern und den Katastrophenschutzämtern unkoordiniert und zum Teil sogar behindernd waren. Während manche Aktionen vor dem Hintergrund dieser Naturkatastrophe noch verständlich erscheinen mögen, offenbart sich der unzureichende Informationsfluss und die zum Teil unterschiedlichen Interessenslagen von Anlagenbetreibern und Katastrophenschutzämtern in den derzeit durchgeführten Planungen zur Abwehr von Hochwassergefahren. Das Fehlen einer Abstimmung der internen und externen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne wurde als eines der Hauptdefizite im Rahmen der Untersuchungen erkannt.

4. Umsetzung der technischen Regelwerke

Im Rahmen der Beurteilung der Anlagen und Betriebsbereiche in den ausgewählten Modellregionen, konnte festgestellt werden, dass von den Betreibern im Wesentlichen die einschlägigen Regelwerke umgesetzt wurden. Hierzu wurden anhand eines separat für diese Untersuchungen erstellten Fragebogens die jeweiligen verantwortlichen Personen der einzelnen Betriebsbereiche und Anlagen interviewt sowie z.T. die Sicherheitsberichte als auch Alarm- und Gefahrenabwehrpläne eingesehen.

5. Kleine Heizöl- und Flüssiggastanks

Als grundsätzlich problematisch hat sich die Anzeige von Heizöltanks und Anzeigepflicht von kleinen Flüssiggastanks für die Versorgung privater Haushalte erwiesen. Weil Anzeigepflichten fehlen (Flüssiggastanks) oder Besitzer ihrer Anzeigepflicht nicht nachkommen (Heizöltanks), herrscht bei den Behörden oftmals Unkenntnis über die Zahl der Anlagen und deren Lage.

Insgesamt ergibt sich ein deutliches Defizit in Bezug auf die Registrierung und Überwachung vor allem von Flüssiggasbehältern. Eine Anzeigepflicht für diese insbesondere in Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten sollte per Verordnung bzw. gesetzlich begründet werden und zwar am geeignetsten so, dass diese Überwachung zentral bei einer Behörde angesiedelt wird, welche auch im Bereich des Hochwasserschutzes verantwortlich ist. Vormals war dies die Untere Wasserbehörde. Nachdem

Flüssiggas jedoch keine Wassergefährdungsklasse mehr aufweist, ist deren Zuständigkeit erloschen.

6. Umsetzung der Anforderungen der VAwS sowie Empfehlungen der IKSE in den Modellregionen

   Wie die Schäden in Dresden und Dessau an den privaten Öltanks gezeigt haben, waren die meisten Anlagen nicht gegen Überschwemmung gesichert. Dies war bis dahin für die Anlagen, die außerhalb der Überschwemmungsgebiete lagen, rechtlich auch nicht erforderlich. In den Fällen, in denen Tankanlagen in Überschwemmungsgebieten lagen, gelten die einschlägigen Pflichten der jeweiligen VAwS. In diesen Fällen konnte ein Vollzugsdefizit festgestellt werden. Dies wurde meist dadurch verursacht, dass zahlreiche Tankanlagen den Behörden nicht bekannt waren.

   Für Anlagen, die in überschwemmungsgefährdeten Gebieten liegen, gibt es derzeit noch keine Rechtsgrundlage zur Durchsetzung erhöhter Anforderungen. Die Umsetzung entsprechender Pflichten in einer VAwS bzw. der Empfehlungen der IKSE kann erst dann in der Praxis durchgesetzt werden, wenn die „überschwemmungsgefährdeten Gebiete“ festgesetzt sind.

## 2.5 Stand der Technik zum Hochwasserschutz

Der Stand der Technik zum vorbeugendem Hochwasserschutz wird beschrieben durch

- die praktisch geeigneten Maßnahmen der trockenen Vorsorge sowie der nassen Vorsorge,
- die verfügbaren Maßnahmen, die eine Gewähr der praktischen Eignung darstellen,
- die technischen Möglichkeiten zur Nachrüstung sowie durch
- die organisatorischen Maßnahmen.

Die Berücksichtigung der Technischen Regelwerke ist dabei eine Grundvoraussetzung.

Stichwortartig umfassen die Maßnahmen zur trockenen Vorsorge im Einzelnen:

- Anheben des Geländeniveaus
- Eindeichung
- Errichtung von stationären oder mobilen Schutzsystemen
- Einbau von Kanalverschlüssen
- Errichtung von Speicherbehältern für Abwasser während des Hochwassers für abwasserrelevante Betriebsbereiche
- Sicherung der Energieversorgung
- Sicherung der Betriebsmittelversorgung für Betriebsbereiche
- Sicherung der Kommunikationswege für Betriebsbereiche

Die Maßnahmen zur nassen Vorsorge umfassen:

- Auftriebssicherheit von Behältern durch Verankerung in einer Bodenplatte bzw. Fundamenten oder durch ausreichende Überdeckung bei unterirdischen Anlagen
- Einsatz von zugelassen Tanks, welche dem äußeren Wasserdruck widerstehen
- Anordnung von Entlüftungen oberhalb der Wasserlinie
- Wasserdichte Ausführung von Anschlüssen, die unterhalb der Wasserlinie liegen
- Verzicht auf Untergeschossnutzung
- Sicherung der Energie- und Betriebsmittelversorgung
- Anordnung von gefährdeten Elektroeinrichtungen, wie z.B. Hauptschalter und Verteilungseinrichtungen, oberhalb der Wasserlinie
- Sicherung der Anlagen und Rohrleitungen vor Treibgut und Eisgang durch z.B. Leitbleche
- Hochlagerung von gefährlichen Stoffen auf Stahl- oder Betonkonstruktionen
- Einblocksysteme für Betriebsbereiche
- Einrichtung von geschützten Prozessleitsystemen zum sicheren Abfahren von Anlagen
- Sicherung der Kommunikationssysteme

Die Möglichkeiten der Nachrüstung zur Sicherheit bestehender Anlagen müssen grundsätzlich individuell geprüft werden, wobei den Maßnahmen zur trockenen Vor-

sorge immer der Vorzug gegeben werden sollte. Sind die Maßnahmen zur trockenen Vorsorge nicht einzurichten, sind die Möglichkeiten der nassen Vorsorge zu überprüfen. Die meisten der zuvor aufgezählten Maßnahmen der nassen Vorsorge sind auch als Nachrüstungsmaßnahme für Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung, VAwS-Anlagen und Flüssiggasbehälter anwendbar.

Die organisatorischen Maßnahmen zum Hochwasserschutz umfassen aus Sicht der Betriebe oder der zuständigen Industrieparkgesellschaft folgende Aspekte:

1. Informationsbeschaffung über mögliche Hochwasserstände, Flusscharakteristiken und der behördlichen Vorsorgemaßnahmen
2. Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes entsprechend den Möglichkeiten der trockenen und nassen Vorsorge
3. Erarbeitung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen unter besonderer Berücksichtigung der Gefahren durch Hochwasser inkl. der Notfallplanung für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten entsprechend der Störfall-Verordnung und Abstimmung der Planungen mit den Katastrophenschutzbehörden
4. Koordination der internen und externen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne mit den Katastrophenschutzbehörden
5. Erprobung der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung mit den Behörden, der Feuerwehr bzw. Wasserwehr sowie weiteren beteiligten Institutionen
6. Kommunikation mit den behördlichen Katastrophenschutzämtern, Bewertung eintreffender Informationen und Veranlassung von Maßnahmen zum Hochwasserschutz im Ereignisfall
7. Organisation von Maßnahmen zur Verminderung der Umweltauswirkungen bei Schadstofffreisetzungen

Mit dem vorgelegtem Forschungsbericht werden auch die Möglichkeiten zur Verhinderung der Ausbreitung von Schadstoffen im Falle einer Leckage vorgestellt. Hierbei ist kritisch anzumerken, dass eine Rückhaltung von Schadstoffen im Hochwasserfall kaum möglich ist. Chancen bestehen allenfalls für die Rückhaltung aufschwimmender Stoffen, wie z.B. Heizöl, deren Ausbreitung unter bestimmten Umständen lokal durch Ölsperren verhindert werden kann.

Darüber hinaus werden auch zahlreiche Methoden zur Ausbreitungsrechnung von Schadstoffen auf dem Wasserpfad vorgestellt und kritisch diskutiert. Insgesamt ist in

diesem Zusammenhang festzustellen, dass es derzeit keine Methode gibt, mit der die Ausbreitung von Schadstoffen, insbesondere von gelösten Verbindungen, auf dem Wasserpfad für den Hochwasserfall ausreichend genau ermittelt werden kann. Hierzu zählen auch die Alarmmodelle für den Rhein und für die Elbe, wobei es im Einzelnen qualitative Unterschiede gibt. Daher sind Forschungsanstrengungen erforderlich, um dieses Defizit zu beheben.

Anlagen, die eine technische und organisatorische Gesamtkonzeption auf der Basis der dargestellten Vorsorgevarianten realisiert haben, sind bzgl. des Hochwasserschutzes Anlagen nach dem Stand der Technik.

## 2.6 Schutz vor Sturm und Erdbeben

Der Stand der Technik zur bautechnischen Risikobestimmung und -eingrenzung ist heute in Deutschland hinsichtlich der Baunormen und der sonstigen Regelungsdichte sehr gut verfügbar. Dies schließt auch komplizierte computerbasierte Tragwerksanalysen ein. Dennoch ist die zuverlässige Ermittlung und Eingrenzung des Gesamtrisikos eines Betriebsbereiches gemäß der StörfallV dann kritisch zu hinterfragen, wenn bauliche und betriebliche Risiken gemeinsam negativ wirksam werden können. Durch die Berichterstatter konnten in der praktischen Umsetzung im Rahmen von Genehmigungsverfahren folgende Defizite festgestellt werden:

- Technisch-wissenschaftlich begründete Sicherheitsdefizite:
  - Konzeptionelle Schwierigkeiten bei der Behandlung von Kombinationsrisiken, d.h. kombinierter baulicher und betrieblicher Risiken.
  - Höhere Auslegungsanforderungen nach der neuen DIN 1055-4 (Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Windlasten) nördlich der Mittelgebirge, besonders relevant bei leichten Produktionsgerüsten.
  - Häufig unzutreffende Einschätzung der Sturmgefährdung durch Interferenzen infolge der Umgebungstopologie.
  - Unkenntnis der Schutzziele (Personenschutz) der DIN 4149 (Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten), wodurch im Falle des Bemessungserdbebens erhebliche plastische Deformationen in Anlagenkomponenten auftreten könnten.

- Derzeit unbekannte seismische Vulnerabilitäten für die meisten in deutschen Erdbebengebieten gelegenen Betriebsbereiche und Anlagen.
- Nach Baurecht fehlende Regelungen betreffend Betriebsmaßnahmen nach einem Erdbeben.

➢ Sicherheitsdefizite im Rahmen des Genehmigungsverfahrens:

- Baunormen unterschiedlichen Standes der Technik.
- Bautechnische Sicherheitsdefizite bei der BImSchG-Mitgenehmigung von Bauwerken durch mangelnde Berücksichtigung der Baurechtsaspekte.
- Systemische Sicherheitsdefizite durch verfahrensgemäße Koordinationsmängel, wie Nicht-Beachtung der baugesetzlichen Prüfberichte in den Prüfberichten nach BImSchG und den Sicherheitsberichten sowie deren Prüfberichte gemäß Störfall-Verordnung
- Mangelnde Kenntnis in den BImSchG-Prüfverfahren, insbesondere bei Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung, von Schutzzielen der Baunormen.
- Wissenslücken zwischen Verfahrensingenieuren bzw. Anlagenplanern und Bauingenieuren bei der Anlagenplanung und -prüfung.

Weil die Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG unter Einschluss des baurechtlichen Verfahrens bei Zusatzrisiken aus Erdbeben und Sturm dem Gebot der Gesamt-Gefahrenabwehr eines Betriebsbereichs nach der StörfallV nicht ausreichend gerecht werden, empfehlen die Berichterstatter, die 9. BImSchV in der Weise zu ergänzen, dass die Genehmigungsbehörde im Falle erhöhter baulicher Risiken aus Erdbeben und Sturm eine enge Koordination mit der Baugenehmigungsbehörde herbeizuführen hat. Ziel ist es, die Prüf- und Abnahmeberichte der Bauaufsicht in die Prüfberichte und Sachverständigengutachten nach StörfallV zu integrieren, um das Kombinations-Risikopotenzial eines Betriebsbereiches nach der StörfallV korrekt bestimmen zu können.

Es wird weiter empfohlen in der 9. BImSchV eine Abstimmung zwischen den BImSchG-Genehmigungsbehörden, den Baubehörden, den Betreibern von Betriebsbereichen und den Anlagenbetreibern, den staatlich anerkannten Sachverständigen für die Prüfung der Standsicherheit sowie den Sachverständigen nach § 29a BImSchG verbindlich festzulegen.

Die Berichterstatter empfehlen darüber hinaus die Erarbeitung einer „Technischen Regel Anlagensicherheit in sturm- und erdbebengefährdeten Gebieten“ als geeignetes Mittel zur Sensibilisierung der beteiligten Parteien.

Als besonders problematisch bzgl. der Schutzziele sind die DIN 1055-4 und DIN 4149 zu bewerten. Beide Normen, wie auch die gesamten Regelungen zur baurechtlichen Risikobegrenzung nach DIN 1055-100 (Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln), sind primär für Bauwerke des Hoch- und Ingenieurbaus konzipiert. Zielgruppe sind private und öffentliche Bauten, aber keine Produktionsanlagen mit zusätzlichen Betriebsrisiken. Ihre primären Schutzziele sind dabei auf die Vermeidung von Verlusten an Menschenleben ausgerichtet. Der materielle Schutz gilt im Baurecht als sekundär, da er nicht zu den Fürsorgepflichten des Staates für seine Bürger zählt, sondern als private Aufgabe gilt. Diese Sicherheitsphilosophie ist für Betriebsbereiche, die der StörfallV unterliegen, nicht nachvollziehbar, da sie in keiner Weise einem modernen Streben nach Eingrenzung des Gesamtrisikos Rechnung trägt.

Dies wird besonders augenscheinlich am Beispiel der DIN 4149. Sie gilt primär für Hoch- und Ingenieurbauten und soll für ein Beben mit 475-jähriger Wiederkehrperiode gerade den Personenschutz gewährleisten. Dies bedeutet, dass im seismischen Grenzfall eine betroffene bauliche Anlage weitgehend zerstört sein darf, wenn nur keine Menschenleben zu beklagen sind.

Ein derartiges Szenario ist für Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung inakzeptabel, da geringe seismische Komponentenschäden (Plastizierungen, lokale Brüche) zu großen sekundären Schäden mit negativen Störfallauswirkungen führen können. Auch die diesbezüglichen Regelungen der KTA 2201 (Kerntechnischer Ausschuss) wären hier schwierig anwendbar, da sie konservativ (strukturdynamische Gesamtnachweise der KT-Anlage) sind.

Die vorstehend angesprochenen Probleme der Begrenzung seismischer Beanspruchungen sind nur durch erheblichen anwendungsorientierten Forschungsaufwand im Konzept eines modernen „perfomance-based seismic engineering“ einer Klärung näher zu bringen.

Forschungsbedarf liegt insbesondere in der seismischen Strukturdynamik der vielen Sonderkonstruktionen von Betriebsbereichen und Anlagen, deren seismische Vulnerabilität weitgehend unbekannt ist und deshalb nicht durch systematische Konstruktionsmaßnahmen gesenkt werden kann. In noch höherem Maße aber besteht For-

schungsbedarf in der Bestimmung und systematischen Absenkung der seismischen Vulnerabilität (Anhebung der seismischen Robustheit) eines gesamten Betriebsbereiches bzw. einer Anlage, der/die durch interne Infrastrukturbauwerke vielfach vernetzt ist.

Bei einer Beurteilung der Bedeutung dieser Fragestellung für die Sicherheit von Betriebsbereichen und Anlagen wird oft übersehen, dass z.B. Köln einschließlich seines rheinnahen Gürtels mit chemischen Industrien eine deutsche Großstadt mit einer herausragenden seismischen Gefährdung darstellt.

## 2.7 Bergsenkungen

Bergbauinduzierte Bodenbewegungen sind im Gegensatz zu den Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm und Erdbeben ein von Menschen induzierter, i.d.R. stetiger Prozess (Ausnahme: bergbauinduzierte Erdbeben). Die mit dem Abbau eines Flözes in größerer Teufe verbundenen Auswirkungen auf die Oberfläche sind im Allgemeinen recht gut vorhersehbar. Mögliche Einwirkungen auf Bauwerke in Betriebsbereichen und Anlagen lassen sich realitätsnah erfassen und deren Auswirkung auf Strukturen mit verfügbaren computerbasierten Rechenmodellen hinreichend gut ermitteln. Daraus lassen sich entsprechende Vorkehrungen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit ableiten. Darüber hinaus erlaubt die Langsamkeit des Prozesses bei entsprechender Überwachung (Monitoring) jederzeit angemessene Korrekturen des Sicherheitskonzeptes.

Im Gegensatz zu den Einwirkungen aus Sturm und Erdbeben fehlt für die Auslegung von Bauwerken zum Schutz gegen Einwirkungen infolge bergbauinduzierter Bodenbewegungen ein verbindliches technisches Regelwerk mit entsprechenden Vorschriften bezüglich Einwirkungen, Bemessung, Konstruktion und Ausführung baulicher Anlagen.

Nach der zur Zeit gültigen Gesetzgebung steht der Umfang bergbausichernder Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren allein in der Verantwortung des Bergbautreibenden. Die vom Fachnormenausschuss für Bauwesen erarbeiteten Richtlinien [NRW 1963] für die Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus stellen lediglich Empfehlungen dar.

Durch den öffentlichen Rahmenbetriebsplan erhalten Betreiber von Betriebsbereichen und Anlagen von einem geplanten Abbau Kenntnis. Zu erwartende Bodenbewegungen werden von Bergbautreibenden ermittelt und von den zuständigen Bergbehörden unabhängig überprüft. Art und Umfang der Sicherung eines Betriebsbereichs gemäß StörfallV gegen bergbauliche Einwirkungen werden im gegenseitigen Einvernehmen allein vom Bergbautreibenden und dem Betreiber des Übertagebetriebes festgelegt.

Bei neu zu errichtenden Betriebsbereichen oder Anlagen hat der Bauherr aufgrund eines entsprechenden Verlangens des Bergbautreibenden den zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die Oberfläche durch Anpassung von Lage, Stellung und Konstruktion Rechnung zu tragen (Anpassungspflicht).

In besonderen Fällen kann die Landesregierung durch Rechtsverordnung Baubeschränkungsgebiete festsetzen, in denen die Errichtung, Erweiterung oder Nutzungsänderung von Betriebsbereichen oder Anlagen nur mit Zustimmung der Bergaufsicht erfolgen darf.

Die Auslegung zur schadensfreien Aufnahme von Einwirkungen aus Bergsenkungen liegt einzig in der Verantwortung des Bauherrn eines Betriebsbereichs nach der StörfallV und des Bergbautreibenden. Nach der derzeit gültigen Rechtslage ist eine Kontrolle bzw. Überprüfung entsprechender Sicherheitsvorkehrungen und -systeme durch eine unabhängige staatliche Einrichtung (Behörde) nicht vorgesehen. Zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter kann die Bergbehörde gemäß § 125 BBergG lediglich Messungen anordnen, die zur Feststellung zu erwartender oder eingetretener Einwirkungen des Bergbaus auf die Oberfläche erforderlich sind. Darüber hinaus kann nach einem Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes die Bergbehörde die Gewinnung von Bodenschätzen beschränken oder untersagen, wenn nur dadurch unverhältnismäßige Beeinträchtigungen des Oberflächeneigentums (Betriebsbereiche und Anlagen) zu vermeiden sind.

Die Berichterstatter empfehlen bauordnungsrechtlich die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit baulicher Anlagen von Betriebsbereichen nach der StörfallV für den Fall bergbaulicher Einwirkungen durch eine unabhängige Instanz überprüfen und überwachen zu lassen.

Die Berichterstatter empfehlen ferner die 9. BImSchV in der Weise zu ergänzen, dass die BImSchG-Genehmigungsbehörde (bei BImSchG-genehmigungspflicht der

Anlagen eines Betriebsbereichs) im Falle erhöhter baulicher Risiken durch Bergsenkungen eine enge Koordination mit der Bergbaubehörde und der Baugenehmigungsbehörde herbei zu führen hat. Hierbei wären dann zukünftig Prüf- und Abnahmeberichte der Bergämter und der Bauaufsicht in die Prüfberichte und Sachverständigengutachten nach StörfallV zu integrieren, um das Kombinations-Risikopotenzial eines Betriebsbereiches nach der StörfallV korrekt bestimmen zu können.

Des weiteren empfehlen die Berichterstatter eine detaillierte Kartographierung der vorhandenen und zukünftigen untertägigen Bergbaugebiete einschließlich der prognostizierten Setzungslinien mit den übertage überlagerten Betriebsbereichen vorzunehmen, wie dies von den Verfassern dieses Berichtes bereits in einem ersten Verfahrensschritt erarbeitet wurde.

## 2.8 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung, Katastrophenschutz

Von den Berichterstattern wurden die rechtlichen Grundlagen zur Planung für Notfälle sowie zur internen (betrieblichen) und externen Alarm- und Gefahrenabwehr (Katastrophenschutz) untersucht und dargelegt. Durch Erhebung von Informationen in den ausgewählten Modellregionen wurde eine Bestandsaufnahme mit Darlegung der öffentlichen, staatlichen und betreibereigenen Vorbereitung auf das Wirksamwerden der Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm und Erdbeben vorgenommen. Die Ergebnisse der Untersuchungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Informationspflichten

  Nach § 3 der StörfallV lassen sich zwar für Betreiber Pflichten zur Vorsorge und Abwehr bzgl. umgebungsbedingter Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser, ableiten, jedoch fehlen nach Ansicht der Berichterstatter präzisierende Vorgaben. Ähnliches gilt auch für die Katastrophenschutzgesetze der beteiligten Länder. Hier wird von sogenannten „Großschadensereignissen“ ausgegangen, die jedoch nicht näher definiert werden. Eine konkrete Benennung der Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm und Erdbeben wäre hilfreich, damit die Katastrophenschutzpläne besser in Bezug auf diese Gefahrenquellen ausgearbeitet werden können.

  In der Störfall-Verordnung wird nur für diejenigen Betriebsbereiche, die unter die erweiterten Pflichten fallen, die Erstellung eines internen Alarm-

und Gefahrenabwehrplanes (AGAP) erhoben. Die Forderung zur Erstellung eines solchen Planes ist für Betriebsbereiche, die unter die Grundpflichten fallen, nur nach Einzelfallanordnung durch die Behörden möglich. In der Regel liegt für diese Betriebsbereiche kein AGAP vor.

Andererseits ist der Betreiber verpflichtet, den Behörden ausreichende Informationen vorzulegen, damit diese einen externen Alarm- und Gefahrenabwehrplan erstellen können. Vor dem Hintergrund dieser Anforderung erscheint es sinnvoll und wird daher von den Berichterstattern empfohlen, die Pflicht zur Erstellung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen auch auf Betriebsbereiche auszuweiten, die nur den Grundpflichten unterliegen. Ausführungen zur Gefahrenquelle Hochwasser sollten nach Ansicht der Berichterstatter grundsätzlich dann vorgelegt werden, wenn der Betriebsbereich in einem Überschwemmungsgebiet oder überschwemmungsgefährdeten Gebiet liegt.

- Überprüfung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen

Die Prüfung eines Alarm- und Gefahrenabwehrplanes ist in den Verordnungen und Gesetzen nicht klar geregelt. Im Genehmigungsverfahren nach BImSchG muss ein interner Alarm- und Gefahrenabwehrplan für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten vorgelegt werden. Eine Prüfung dieser Unterlagen wird in aller Regel als Genehmigungsvoraussetzung nicht durchgeführt.

Es wird von den Verfassern empfohlen, eine Prüfpflicht für Alarm- und Gefahrenabwehrpläne durch Sachverständige im Rahmen des § 29a BImSchG festzulegen. Dies kann über Ergänzungen einschlägiger Verordnungen zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erfolgen.

- Vorhersage von Ereignissen

Die Alarmsysteme zur Hochwasservorhersage an Gewässern sind nach den Ereignissen im August 2002 in den einzelnen beteiligten Bundesländern nach Meinung der Berichterstatter erheblich verbessert worden. Der Informationsfluss via Internet kann als ausgezeichnet bewertet werden.

## 2.9 Vorschläge für Vollzugshilfen und für die Öffentlichkeitsarbeit

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden verschiedene Vorschläge für Vollzugshilfen und für die Öffentlichkeitsarbeit entwickelt. Diese sind als Anlagen dem Forschungsbericht beigefügt und umfassen folgende Themenbereiche:

Anlage I Vorschlag für eine Vollzugshilfe hinsichtlich der Unterlagen und Darlegungen im Genehmigungsantrag nach dem BImSchG für Anlagen in Betriebsbereichen in Bezug auf die Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen sowie den Prüfungsrahmen durch die Genehmigungsbehörde

Anlage II Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Prüfung eines Sicherheitsberichtes (SiB) gemäß der Störfall-Verordnung in Bezug auf die Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen

Je nach Gebietscharakteristik wird ein Prüfungsrahmen bzgl. der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens diskutierten Gefahrenquellen vorgeschlagen.

Anlage III Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Durchführung von Inspektionen von Betriebsbereichen

Dieser Vorschlag dient der systematischen Prüfung der technischen, organisatorischen und managementspezifischen Systeme von Betriebsbereichen gemäß § 16 StörfallV in Bezug auf umgebungsbedingte Gefahrenquellen (Hochwasser, Erdbeben, Sturm und Bergsenkungen)

Anlage IV Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Prüfung privater Heizöltanks und Flüssiggasbehälter bzgl. der Gefahrenquelle Hochwasser

Es werden zahlreiche Hinweise und Prüfungspunkte zur Sicherung privater Heizöltanks und Flüssiggasbehälter gegenüber Hochwasser gegeben.

Anlage V Mittel für die Öffentlichkeitsarbeit

Es wurde ein Vorschlag für eine zentrale Internetseite erstellt, mit deren Hilfe sich private Betreiber von Heizöl- und Flüssiggastanks über vorbeugende Maßnahmen zum Hochwasserschutz und über die aktuelle Lage in den einzelnen Regionen über Linkverbindungen informieren können.

Anlage VI Muster und Bausteine für einen internen (betrieblichen) Alarm- und Gefahrenabwehrplan Hochwasser (AGAP HW)

# 3 Rechtliche Grundlagen, Verordnungen und technische Regelwerke

In diesem Abschnitt werden die rechtlichen Grundlagen sowie die technischen Regelwerke mit Bezug zum vorbeugendem Hochwasserschutz dargestellt, wobei wesentliche Bestimmungen in der Störfall-Verordnung [StörfallV, 2000] auch für die umgebungsbedingten Gefahrenquellen Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen gelten. Für die letztgenannten Bereiche werden die Grundlagen detailliert in den dazu gehörigen Abschnitten 8 und 9 dargestellt. Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu betrachtenden rechtlichen Grundlagen sind:

- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) mit den zugehörigen Verordnungen (z.B. 12.Verordnung - Störfall-Verordnung)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Landeswassergesetze (LWG) mit den zugehörigen Verordnungen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS - Anlagenverordnungen)
- Baugesetzbuch mit Regelungen zu Flächennutzungsplänen und Bebauungsplänen

Während das Immissionsschutzrecht durch einen starken Anlagenbezug charakterisiert ist, steht im Wasserrecht die Gewässerbenutzung in Vordergrund. Im Wasserrecht gibt es jedoch auch einige wenige Bereiche, die direkt in die Anlagengestaltung eingreifen. Hierzu zählen die Anlagen für wassergefährdende Stoffe entsprechend §19 g Wasserhaushaltsgesetz [WHG, 2005]. Sie müssen mindestens den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) entsprechen bzw. so beschaffen sein, dass ein bestmöglicher Schutz vor Gewässerverunreinigungen erreicht wird. Weil bislang die eigentliche Gesetzgebungskompetenz im Wasserrecht bei den Bundesländern angesiedelt war, mussten die Rahmenregelungen des WHG im jeweiligen Landesrecht umgesetzt werden. Auf der Grundlage der Landeswassergesetze wurden länderspezifische Verordnungen für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) erarbeitet, in denen die technischen Anforderungen im Einzelnen dargelegt sind. Seit der Änderung des Grundgesetzes in 2006 liegt die Gesetzgebungskompetenz für VAwS-Anlagen nunmehr allein beim Bund.

Das Zusammenspiel der für die zu betrachtenden Gefahrenquellen wesentlichen rechtlichen Grundlagen für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen und Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, ist in **Abbildung 3.1** vereinfacht dargestellt.

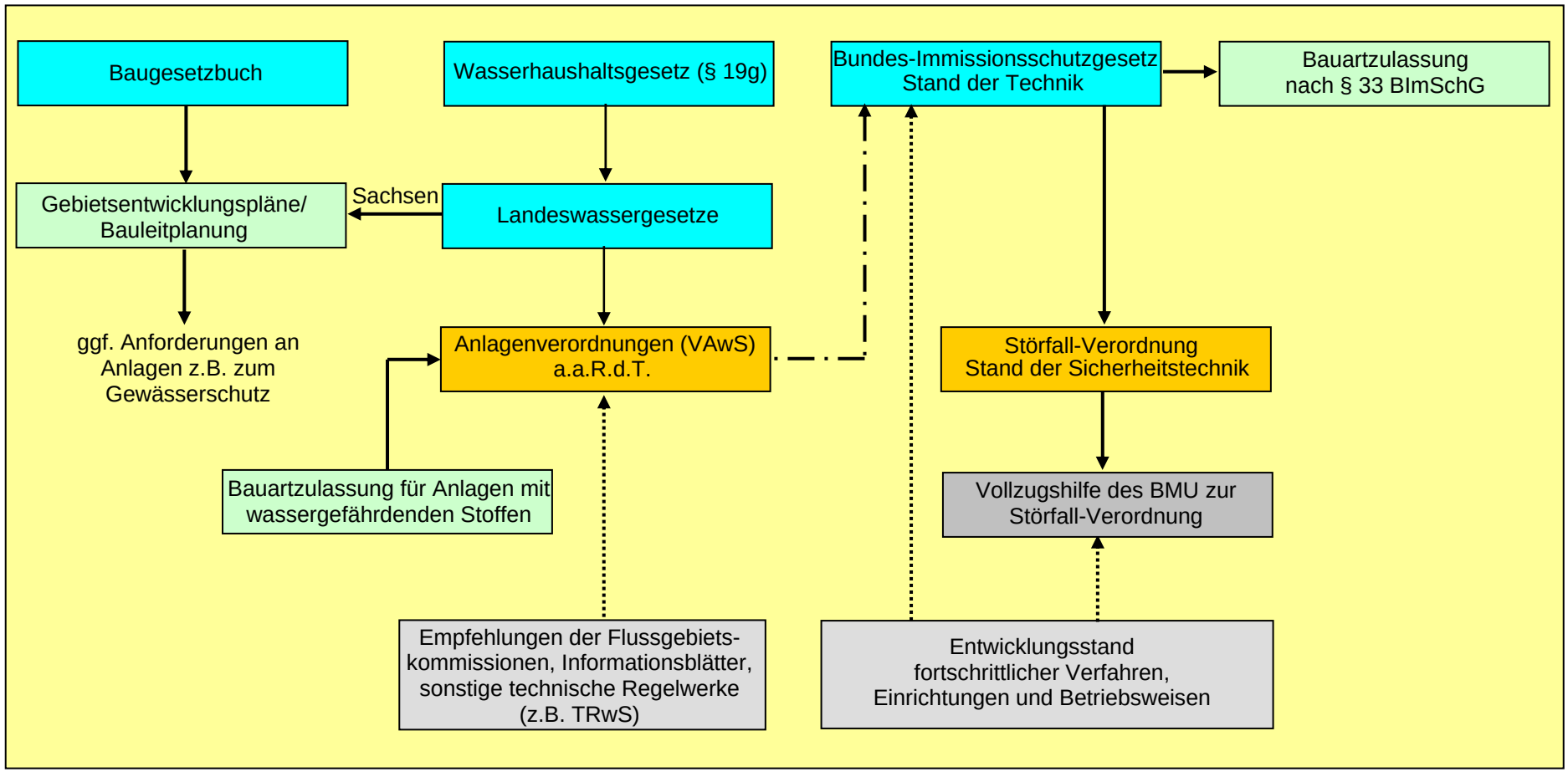



**Abbildung 3.1**: Zusammenspiel von WHG und BImSchG

Die technischen Anforderungen an VAwS-Anlagen sind i.d.R. höher, wenn die Anlagen in Überschwemmungsgebieten liegen. Für diese Anlagen bilden die Empfehlungen der Flussgebietskommissionen sowie bestimmte Informationsblätter eine wichtige Grundlage für die Anforderungen in der jeweiligen VAwS. Sie selbst haben jedoch keinen Rechtscharakter.

Neben den Anforderungen der VAwS können zur Vermeidung des Austritts von wassergefährdenden Stoffen bei Hochwasser auch technische oder bauliche Anforderungen in Bauleitplänen festgelegt werden. Grundlage hierfür sind das Baurecht bzw. die Landesbauordnungen. In Sachsen wird darüber hinaus im Landeswassergesetz ausdrücklich auf die Bauleitplanung verwiesen.

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz [BImSchG, 2005] dient für Anlagenarten, die in der 4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [4. BImSchV, 2003] genannt sind,

- der integrierten Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie
- dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden.

Anlagen, die nach dem BImSchG genehmigungsbedürftig sind, müssen nach dem Stand der Technik errichtet und betrieben werden.

Der Anwendungsbereich der 12. BImSchV (Störfall-Verordnung) orientiert sich an Stoffen, Stoffeigenschaften, Kombinationen von diesen und Mengen. Werden für dort genannte gefährliche Stoffe bestimmte Mengenschwellen überschritten, unterliegen die zu betrachtenden Betriebsbereiche der Störfall-Verordnung. Diese fordert zur Verhinderung von Störfällen die Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik.

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG greifen die Behörden auf die VAwS-Anlagenverordnungen der Länder zurück. Deshalb sind die VAwS-Anlagenverordnungen für Genehmigungen nach dem BImSchG von zentraler Bedeutung. Bestimmte Anlagen und Einrichtungen, die serienmäßig hergestellt werden, können nach § 33 BImSchG eine Bauartzulassung erhalten. Dies gilt auch für das Wasserrecht, das für serienmäßige Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen eine Bauartzulassung ermöglicht.

In umfangreichen Regelwerken, wie z.B. Richtlinien, Regeln, Merkblättern und Normen, sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik dargestellt, die von der zuständigen Behörde als verbindlich eingeführt werden müssen. Sie bilden den dokumentierten und allgemeinen anerkannten Fundus an technischem Wissen, repräsentieren jedoch weder den Stand der Technik im Sinne des BImSchG noch den Stand der Sicherheitstechnik im Sinne der Störfall-Verordnung.

Die rechtlichen Grundlagen und die technischen Regelwerke werden in den folgenden Abschnitten bezüglich ihrer Relevanz in Bezug auf umgebungsbedingte Gefahrenquellen detailliert dargestellt.

## 3.1 Vorgaben des WHG zum vorbeugenden Hochwasserschutz

Aus Sicht der Betreiber von Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen sind die wasserrechtlichen Grundlagen zum Hochwasserschutz von Bedeutung, weil mit der Festsetzung von Überschwemmungsgebieten sowie Gebieten, die z. B. durch Deichbruch potenziell überschwemmt werden können, (zukünftige „überschwemmungsgefährdete Gebiete) bestimmte Anforderungen an VAwS-Anlagen zu berücksichtigen sind. Daher werden in den folgenden Kapiteln

- die rechtlichen Grundlagen zur Ausweisung von Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten sowie
- die damit verbundenen Anforderungen an Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen

dargelegt. Die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten wurde bis zur Verabschiedung des Gesetzes zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes am 3. Mai 2005 in § 32 des Wasserhaushaltsgesetzes in der Fassung vom 19.08.2002 geregelt [WHG, 2002]. Vor dem Hintergrund der beiden „Jahrhunderthochwasser“ am Rhein von 1993 und 1995 war der Begriff „Überschwemmungsgebiet“ wie folgt definiert worden:

*Überschwemmungsgebiete sind Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen oder Hochufern sowie sonstige Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt oder durchflossen oder die für Hochwasserentlastung oder Rückhaltung beansprucht werden. Die Länder setzen die Überschwemmungsgebiete fest und erlassen die dem Schutz vor Hochwassergefahren dienenden Vorschriften, .....*

Unmittelbar nach der Flutkatastrophe im August 2002 entwickelte die Bundesregierung ein 5-Punkte Programm zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Ein wesentlicher Baustein ist das in Form eines Artikelgesetzes verabschiedete „Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“ vom 3. Mai 2005. Im Einzelnen wurden mit dem Artikelgesetz folgende Gesetze geändert:

- Wasserhaushaltsgesetz
- Baugesetzbuch
- Raumordnungsgesetz
- Bundeswasserstraßengesetz
- Gesetz über den Deutschen Wetterdienst
- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

Die Änderungen im Wasserhaushaltsgesetz zum Hochwasserschutz betreffen die in **Tabelle 3.1.1** zusammengefassten Paragrafen. Von besonderer Bedeutung ist die Einführung der §§ 31a-d WHG. In § 31a WHG wird zunächst die Pflicht zum Hochwasserschutz definiert. Gleichzeitig werden die Pflichten von Personen, die von Hochwasser betroffen sein können, zur Schadenverminderung festgeschrieben. Die behördlichen Zuständigkeiten zur rechtzeitigen Information der Betroffenen werden durch die Länder festgelegt.

**Tabelle 3.1.1**: Änderungen im Wasserhaushaltsgesetz durch das Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vom 03. Mai 2005 (Artikel 1)

| | |
|---|---|
| § 31a | Grundsätze des Hochwasserschutzes |
| § 31b | Überschwemmungsgebiete |
| § 31c | Überschwemmungsgefährdete Gebiete |
| § 31d | Hochwasserschutzpläne |
| § 32 | Kooperation in den Flussgebietseinheiten |

§ 31b definiert „Überschwemmungsgebiete“ als Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen oder Hochufern. Darüber hinaus gelten auch Flächen als Überschwemmungsgebiete, die bei Hochwasser überflutet oder durchflossen oder die für die Hochwasserentlastung oder für die Wasserrückhaltung beansprucht werden. Überschwemmungsgebiete werden durch Landesrecht spätestens bis zum 10. Mai 2012 festgelegt, wobei ein Bemessungshochwasser von $HQ_{100}$ die Grundlage bildet. Die Festsetzungsfrist endet am 10. Mai 2010 für die Überschwemmungsgebiete, in denen ein hohes Schadenspotenzial bei Überschwemmungen besteht, insbesondere Siedlungsgebiete.

Die Kriterien, an denen sich die Länder bei der Festlegung von Vorschriften in Überschwemmungsgebieten zu orientieren haben, sind in § 31b wie folgt festgelegt:

- Erhalt oder Verbesserung der ökologischen Strukturen der Gewässer und ihrer Überflutungsflächen
- Verhinderung erosionsfördernder Maßnahmen
- Erhalt oder Rückgewinnung natürlicher Rückhalteflächen
- Regelung des Hochwasserabflusses
- Vermeidung und Verminderung von Schäden durch Hochwasser

Nach den Vorgaben des WHG ist durch Landesrecht zu regeln:

1. der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen einschließlich des Verbots der Errichtung von neuen Ölheizungsanlagen, soweit andere, weniger wassergefährdende Energieträger zur Verfügung stehen, sowie die Nachrüstung vorhandener Ölheizungsanlagen,
2. die Vermeidung von Störungen der Abwasserbeseitigung,
3. die behördliche Zulassung von Maßnahmen, die den Wasserabfluss erheblich verändern können, wie die Erhöhung oder Vertiefung der Erdoberfläche.

In Überschwemmungsgebieten dürfen durch Bauleitpläne keine neuen Baugebiete ausgewiesen werden; ausgenommen sind Bauleitpläne für Häfen und Werften.

§ 31c definiert als „überschwemmungsgefährdete Gebiete“ die Flächen, die über die Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 31b hinaus überflutet werden können. Dieses Ereignis kann bei einem Hochwasser, das größer ist als das Bemessungshoch-

wasser nach § 31b Abs. 2 Satz 1, oder beim Versagen von Hochwasserschutzeinrichtungen, insbesondere Deichen, eintreten. Durch Landesrecht werden die nach den Grundsätzen des § 31a Abs. 1 und 2 notwendigen Maßnahmen geregelt, insbesondere Verbote oder Einschränkungen für die Lagerung wassergefährdender Stoffe. Auch die Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten ist Aufgabe der Länder. Bislang kannte das Wasserhaushaltsgesetz in der Fassung vom 19.08.2002 den Begriff des „überschwemmungsgefährdeten Gebietes“ nicht.

Vorgaben zur Regelung des Umgangs mit wassergefährdenden Stoffen für Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten durch die Länder sind aus § 31c WHG nicht ableitbar.

Hochwasserschutzpläne sind nach § 31d für die Gewährleistung eines möglichst schadlosen Wasserabflusses, den technischen Hochwasserschutz und die Gewinnung insbesondere Rückgewinnung von Rückhalteflächen sowie weitere dem Hochwasserschutz dienende Maßnahmen (Hochwasserschutzpläne) aufzustellen. Die Hochwasserschutzpläne dienen dem Ziel, die Gefahren, die mindestens von einem statistisch einmal in einhundert Jahren zu erwartenden Hochwasser ausgehen, so weit wie möglich zu minimieren. In die Hochwasserschutzpläne sind insbesondere Maßnahmen zum Erhalt oder zur Rückgewinnung von Rückhalteflächen, zu deren Flutung und Entleerung nach den Anforderungen des optimierten Hochwasserabflusses in Flussgebietseinheiten, zur Rückverlegung von Deichen, zum Erhalt oder zur Wiederherstellung von Auen sowie zur Rückhaltung von Niederschlagswasser aufzunehmen.

Neben dem Wasserhaushaltsgesetz wurden mit dem Artikelgesetz die folgenden Gesetze geändert:

- Baugesetzbuch [BauGB, 2004]
  Die wesentliche Änderung im Baugesetzbuch ist die Pflicht zur nachrichtlichen Übernahme von festgesetzten Überschwemmungsgebieten im Sinne des § 31b Abs. 2 Satz 3 & 4 des Wasserhaushaltsgesetzes in Flächennutzungsplänen sowie in Bebauungsplänen. Noch nicht festgesetzte Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 31b Abs. 5 sowie überschwemmungsgefährdete Gebiete im Sinne des § 31c WHG sollen ebenfalls in Flächennutzungsplänen sowie im Bebauungsplänen vermerkt werden.

- Raumordnungsgesetz [ROG, 2004]
  Die raumordnenden Erfordernisse und Maßnahmen des Hochwasserschutzes nach dem Wasserhaushaltsgesetz werden mit dem Artikelgesetz des Bundes im Raumordnungsgesetz festgeschrieben.

- Bundeswasserstraßengesetz [WaStrG, 2005]
  Mit der Novellierung des Gesetzes werden die Aufgaben der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes durch einen Wasserstands- und Hochwassermeldedienst erweitert, um zu einer rechtzeitigen und zuverlässigen Hochwasserwarnung und -vorhersage beizutragen.

- Gesetz über den Deutschen Wetterdienst [DWD-Gesetz, 2001]
  Die Änderungen in diesem Gesetz dienen der Verknüpfung mit den neuen Bestimmungen des WHG.

- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung [UVPG, 2005]
  Die Änderungen in diesem Gesetz dienen der Verknüpfung mit den neuen Bestimmungen des WHG.

- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz [KWKG, 2004]
  Die Änderungen in diesem Gesetz sind für den Hochwasserschutz nicht relevant.

## 3.2 Vorbeugender Hochwasserschutz in den Landeswassergesetzen

### 3.2.1 Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen sind Bestimmungen des alten § 32 WHG in den §§ 112 – 114 des Landeswassergesetzes (LWG) in Landesrecht umgesetzt worden [LWG – NRW, 2004]. Die Regelungen zur Festsetzung von Überschwemmungsgebieten sind in § 112 des Landeswassergesetzes beschrieben. Im Mai 2005 wurde das Landeswassergesetz NRW geändert, wobei immer noch auf den alten § 32 WHG Bezug genommen wird. Danach setzen nach § 112 die zuständigen Behörden die Überschwemmungsgebiete fest, wobei die Bemessungsgrundlage ein $HQ_{100}$ ist. In § 113 LGW – NRW sind zahlreiche Verbote aufgezählt, wozu auch das Lagern, Umschlagen, Abfüllen, Herstellen, Behandeln und jede sonstige Verwendung von wassergefährdenden

Stoffen in festgesetzten Überschwemmungsgebieten zählt. In Ausnahmefällen kann die Behörde unter bestimmten Bedingungen eine widerrufliche Befreiung zulassen. Den Begriff des „überschwemmungsgefährdeten Gebietes“ kennt das Landeswassergesetz von Nordrhein-Westfalen in der Fassung von 2005 noch nicht [LWG-NRW, 2005]. Eine weitere Novellierung des Landeswassergesetzes zur Anpassung an das WHG ist derzeit in Vorbereitung.

Unabhängig von der noch zu erwartenden Novellierung des Landeswassergesetzes zur Anpassung an das WHG wurde in Nordrhein-Westfalen ein flächendeckendes Kartenmaterial erarbeitet, in dem die hochwassergefährdeten Gebiete gekennzeichnet sind.[1] In **Abbildung 3.2.1.1** ist die Benennung der Flächen für die verschiedenen hochwassergefährdeten Bereiche entsprechend der NRW-Verwaltungsvorschrift "Ermittlung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten" vom Sept. 2000 auf der Grundlage des § 32 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) grafisch dargestellt, wobei die Bezeichnungen aus der Wasserwirtschaft den Bezeichnungen aus der Raumordnung gegenüber gestellt sind.

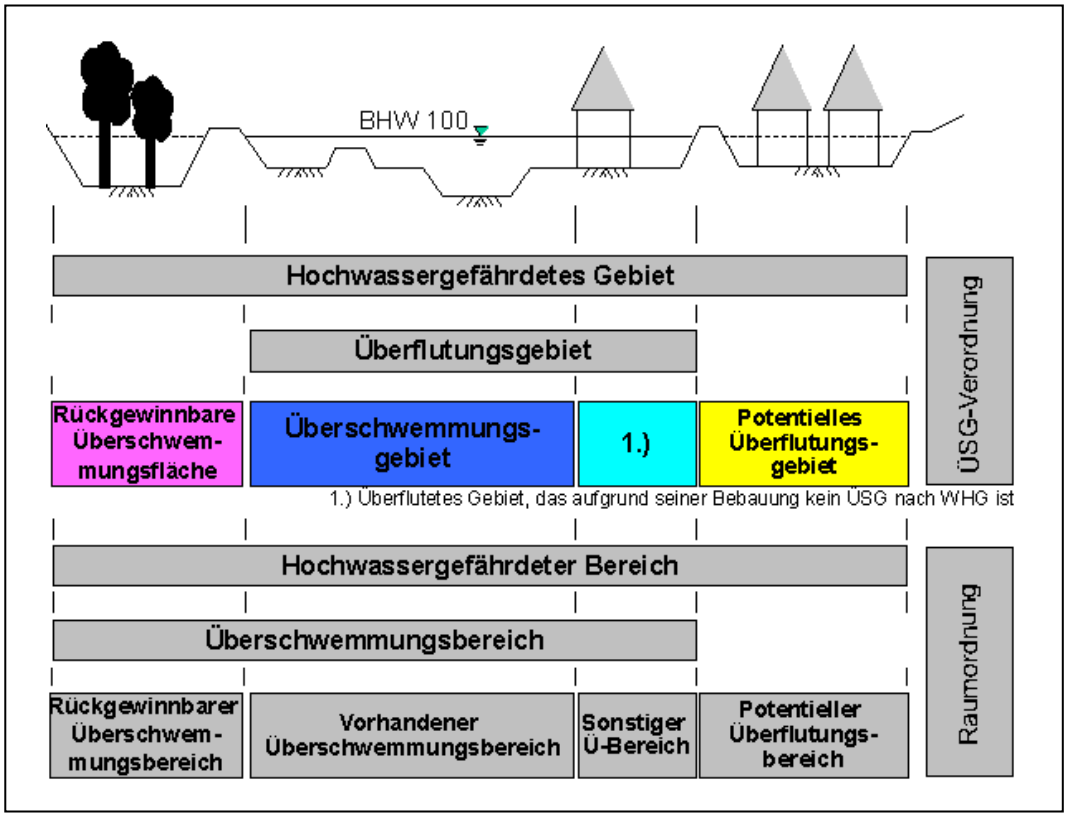



**Abbildung 3.2.1.1**: Begriffsbestimmungen für hochwassergefährdete Flächen in NRW

[1] Die Karten sind im Internet unter der Adresse: www.lanuv.nrw.de abrufbar.

Bedeutsam sind die bebauten Bereiche, die in Überflutungsgebieten liegen, jedoch keine Überschwemmungsgebiete im Sinne des WHG (alte Fassung) sind. Hier ist eine Anpassung des Landeswassergesetzes an das WHG (Fassung 2005) erforderlich.

Die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten nach § 112 Landeswassergesetz (LWG) konkretisiert die Überschwemmungsgrenzen nach Maßgabe bestimmter Jährlichkeiten und auf Grundlage geeigneter wasserwirtschaftlicher Verfahren und ist Voraussetzung für die Genehmigungsvorbehalte und Gebote der §§ 113 und 114 LWG. Die zuständigen Behörden für die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten sind entsprechend der Zuständigkeitsverordnung zum § 112 LWG die Bezirksregierungen in NRW.

Die Überflutungsgebietsgrenzen ergeben sich aus der Schnittlinie der Wasserspiegelhöhen für das $HQ_{100}$ mit den natürlichen Ufern oder Deichen. Durch numerische Verschneidungen mit den Wasserspiegellagen ergeben sich Grenzlinien, die auch hochwassergefährdete Gebiete hinter Deichen erfassen. Die ermittelten Grenzen der überfluteten Flächen sind grundsätzlich durch örtliche Aufnahmen zu plausibilisieren.

Die Karten stellen die hochwassergefährdeten Bereiche an ca. 420 größeren Gewässern in NRW für einen Hochwasserabfluss mit einer Eintretenswahrscheinlichkeit von einem Ereignis in 100 Jahren ($HQ_{100}$) dar (für den Rhein $HQ_{500}$). Extreme Hochwasser mit einer noch geringeren Eintretenswahrscheinlichkeit sowie lokale Starkregen können darüber hinaus Flächen betreffen, die in der Karte als nicht hochwassergefährdet eingestuft sind.

### 3.2.2 Sachsen-Anhalt

Das Land Sachsen-Anhalt setzt die Anforderungen des neuen WHG [WHG, 2005] in §§ 96 – 98a des Wassergesetzes Sachsen-Anhalt [WG LSA, 2005] um. Die Änderungen, die bzgl. der Feststellung von Überschwemmungsgebieten von der Zeit vor dem Hochwasserereignis 2002 bis zum April 2005 erlassen wurden, sind in der **Tabelle 3.2.2.1** wiedergegeben.

**Tabelle 3.2.2.1**: Änderungen im Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt

| vor August 2002 | seit 15.04.2005 |
|---|---|
| **§ 96 Feststellung der Überschwemmungsgebiete**<br><br>(1) Soweit es die Regelung des Wasserabflusses erfordert, stellt die Wasserbehörde die Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt werden, durch Verordnung als Überschwemmungsgebiete fest. Sie kann die Feststellung, auf Teile des bei Hochwasser überschwemmten Gebietes beschränken. Satz 1 gilt auch für Änderungen festgestellter Überschwemmungsgebiete.<br><br>(2) § 48 Abs. 3, 4 und 6 gilt entsprechend.<br><br>(3) Die nach bisherigem Recht bestimmten Überschwemmungsgebiete gelten als festgestellt im Sinne dieses Abschnitts. Absatz 1 Satz 3 gilt entsprechend.<br><br>(3a) Dem Hochwasserabfluss oder der Hochwasserrückhaltung dienende Gebiete zwischen der Uferlinie und dem Hauptdeich oder dem Hochufer sowie Flutungspolder gelten als festgestellte Überschwemmungsgebiete.<br><br>(4) Haben sich die Hochwasserabflussverhältnisse in einem Überschwemmungsgebiet geändert, so ist es neu festzustellen.<br><br>(5) Die Verordnung nach Absatz 1 kann Anlagen, die den Abfluss des Hochwassers nicht wesentlich beeinträchtigen können, vom Genehmigungsvorbehalt nach § 97 Abs. 2 freistellen. | **§ 96 Überschwemmungsgebiete**<br><br>(1) Die Wasserbehörden setzen durch Verordnung die Überschwemmungsgebiete im Sinne von § 32 Abs.. 1 Satz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes fest; in der Verordnung erlassen sie die dem Schutz vor Hochwassergefahren dienenden Vorschriften, soweit es<br><br>1. zum Erhalt oder zur Verbesserung der ökologischen Strukturen der Gewässer und ihrer Übererflutungsflächen,<br>2. zur Verhinderung erosionsfördernder Eingriffe,<br>3. zum Erhalt oder zur Rückgewinnung natürlicher Rückhalteflächen oder<br>4. zur Regelung des Hochwasserabflusses<br><br>erforderlich ist. § 48 Abs. 3, 4 und 6 gilt entsprechend.<br><br>(2) Die nach bisherigem Recht bestimmten Überschwemmungsgebiete gelten als festgesetzt im Sinne dieses Abschnitts. Gleiches gilt für die dem Hochwasserabfluss oder der Hochwasserrückhaltung dienenden Gebiete zwischen der Uferlinie und dem Hauptdeich oder dem Hochufer sowie für Flutungspolder.<br><br>(3) Haben sich die Hochwasserabflussverhältnisse in einem Überschwemmungsgebiet geändert, so ist es neu festzusetzen.<br><br>(4) Die Verordnung nach Abs. 1 kann Anlagen, die den Abfluss des Hochwassers nicht wesentlich beeinträchtigen können, vom Genehmigungsvorbehalt nach § 97 Abs.2 freistellen.<br><br>(5) Bis zur Festsetzung nach Absatz 1, längstens bis zum 31. Dezember 2012, gelten auch die Gebiete, die bis zu einem Hochwasserereignis, mit dem statistisch einmal in hundert Jahren zu rechnen ist, überschwemmt werden, als Überschwemmungsgebiete, soweit diese Gebiete in Arbeitskarten der zuständigen Wasserbehörden, die auf der Grundlage der Ermittlungen des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt erstellt wurden, dargestellt sind. Die Karten sind auszulegen, soweit es zur Sicherung eines Überschwemmungsgebietes erforderlich ist. Sie werden von der zuständigen unteren Wasserbehörde für die Dauer von zwei Wochen zur kostenlosen Einsicht durch jedermann während der Sprechzeiten öffentlich ausgelegt. Mit dem Ablauf der Auslegungsfrist gelten die Überschwemmungsgebiete als vorläufig festgesetzt im Sinne dieses Abschnitts. Auf die Auslegung, den Ablauf der Auslegungsfrist und die Rechtswirkungen ist durch öffentliche Bekanntmachung hinzuweisen; § 72 Abs. 2 Satz 2 des Verwaltungsverfahrensgesetzes für das Land Sachsen-Anhalt gilt entsprechend: Die Karten sind nach Ablauf der Auslegungsfrist bei der zuständigen unteren Wasserbehörde zur kostenlosen Einsicht durch jedermann während der Sprechzeiten aufzubewahren.<br><br>(6) Das für die Wasserwirtschaft zuständige Ministerium wird ermächtigt, durch Verordnung die Einrichtung eines Überschwemmungsgebietsregisters anzuordnen und Bestimmungen zum Inhalt, zur Führung, zur zuständigen Stelle und zur Veröffentlichung zu treffen. |

In § 97 Abs. 2 werden zahlreiche Verbote in Überschwemmungsgebieten ausgesprochen, wozu analog dem LWG-NRW die Lagerung wassergefährdender Stoffe zählt.

Mit der Änderung des Wassergesetzes des Landes Sachsen-Anhalt [WG LSA, 2005] wurde ein neuer § 98 a eingeführt:

***§ 98a Überschwemmungsgefährdete Gebiete***

(1) Überschwemmungsgefährdete Gebiete sind

1. *Gebiete im Sinne des § 32 Abs. 1 Satz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes, die keiner Festsetzung nach § 96 Abs. 1 bedürfen oder*
2. *die Gebiete, die bei Öffnen oder Versagen eines Deiches oder Hochufers überschwemmt werden können: Dabei ist das höchste beobachtete Hochwasserereignis zugrunde zu legen, mindestens jedoch ein Hochwasserereignis, mit dem statistisch einmal in hundert Jahren zu rechnen ist.*

*(2) Überschwemmungsgefährdete Gebiete sind in den Festsetzungen nach § 96 Abs. 1 sowie in Raumordnungs- und Bauleitplänen und in einem Register nach § 96 Abs. 6 darzustellen. In der Zulassung von Anlagen oder Benutzungen in diesen Gebieten ist die Überschwemmungs- sowie die Qualm- und Drängewassergefährdung zu vermerken.*

Das neue Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt [WG LSA, 2005] nimmt in § 98a Abs. 1 noch Bezug auf den alten § 32 WHG [WHG, 2002] und muss hier noch einmal überarbeitet werden. Bedeutsamer ist jedoch der Abs. 2, in dem die möglichen Ursachen einer Überflutung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten genannt werden, wobei das „Öffnen eines Deiches“ nicht näher präzisiert wird. Ob damit die Öffnung von Flutungspoldern oder die gezielte Sprengung von Deichen, wie sie zur Entlastung der Elbe im August 2002 durchgeführt wurden, gemeint ist, bleibt unklar. Die Klärung dieser Frage ist nach Auffassung der Berichterstatter allein schon aus versicherungsrechtlichen Gründen bedeutsam.

Die Grundlage zur Festsetzung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten bildet mindestens ein $HQ_{100}$ oder das höchste jemals beobachtete Hochwasserereignis. Bei der Zulassung von Anlagen in diesen Gebieten ist nicht nur die Überschwemmungsgefährdung, sondern auch das Qualm- und Drainagewasser zu berücksichtigen. Ins-

gesamt ist festzustellen, dass mit dem § 98a drei neue Begriffe eingeführt werden, die es weder im WHG noch in den anderen untersuchten Landeswassergesetzen gibt:

- Öffnen eines Deiches
- Qualmwasser
- Drainagewasser

### 3.2.3 Sachsen

Im Freistaat Sachsen wurden im Sächsischen Wassergesetz [SächsWG, 2004] vom 18.10.2004 die rechtlichen Bestimmungen der §§ 31b und c des zu diesem Zeitpunkt noch nicht rechtskräftigen WHG-Novelle vom 3. Mai 2005 im § 100 des sächsischen Wassergesetzes (SächsWG) umgesetzt. Vor dem Hintergrund des Augusthochwassers im Jahre 2002 hatte der sächsische Landtag am 14.11.2002 die Absätze 1 – 3 des § 100 schon einmal geändert. In **Tabelle 3.2.3.1** sind für einen Vergleich die Definitionen für die „Überschwemmungsgebiete“ der Fassung vor dem Hochwasser 2002 und der neuen Fassung vom 18.10.2004 gegenüber gestellt.

Das Landeswassergesetz des Freistaates Sachsen fordert nicht nur für Überschwemmungsgebiete, sondern auch für Gebiete, die durch Versagen eines Deiches überschwemmt werden können, geeignete bautechnische Maßnahmen, um die Freisetzung wassergefährdender Stoffe zu verhindern.

**Tabelle 3.2.3.1**: Gegenüberstellung von Absätzen des § 100 SächsWG vor und nach der Novelle vom Okt. 2004

| vor August 2002 | seit Oktober 2004 |
|---|---|
| (1) Die untere Wasserbehörde kann Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 32 Abs. 1 Satz 1 WHG durch Rechtsverordnung festsetzen. In der Rechtsverordnung sind die nach § 32 Abs. 1 Satz 2 WHG erforderlichen Regelungen zu treffen.… | (1) Die zuständige Wasserbehörde setzt die Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 32 Abs.1 Satz 1 WHG durch Rechtsverordnung fest. Dabei soll mindestens ein Hochwasserereignis zur Grunde gelegt werden, mit dem statistisch einmal in hundert Jahren zu rechnen ist.…<br><br>(1a) Als Überschwemmungsgebiete gelten die Gelände zwischen Ufer und Deichen sowie Hochwasserschutzräume von Talsperren und Rückhaltebecken sowie Flutungspolder, ohne dass es einer Festsetzung nach Absatz 1 bedarf. Die Herstellung oder wesentliche Änderung eines Flutungspolders bedarf der Planfeststellung oder Plangenehmigung.<br><br>(3) Als Überschwemmungsgebiete gelten kraft Gesetzes, ohne dass es einer Festsetzung nach Absatz 1 bedarf, auch Gebiete, die bis zu einem Hochwasserereignis, mit dem statistisch einmal in hundert Jahren zu rechnen ist, überschwemmt werden, soweit diese Gebiete in Arbeitskarten der zuständigen Wasserbehörden oder technischen Fachbehörden dargestellt und nach § 32 Abs. 1 Satz 2 WHG erforderlich sind.<br><br>(7) Überschwemmungsgebiete und Gebiete, die bei einem Versagen eines Deiches überschwemmt werden, sind in Raumordnungs- und Bauleitplänen zu kennzeichnen. In diesen Gebieten sind bei Sanierung und bei Neubau geeignete bautechnische Maßnahmen vorzunehmen, um den Eintrag wassergefährdender Stoffe bei Überschwemmungen zu verhindern….. |

Im neuen Sächsischen Wassergesetz vom 18.10.2004 wird u.a. ein neuer § 100b eingeführt, in dem der neue Begriff „Hochwasserentstehungsgebiete“ verwendet wird. Aufgrund der sächsischen Topographie sollen die ausgewiesenen Hochwasserentstehungsgebiete in den Mittelgebirgs- und Hügellandschaften dazu dienen, das natürliche Wasserversickerungs- und Wasserrückhaltevermögen zu erhalten und zu verbessern. Insbesondere sollen in Hochwasserentstehungsgebieten die Böden so weit wie möglich entsiegelt und geeignete Gebiete aufgeforstet werden. Auch in anderen Bundesländern, wie z.B. Thüringen, wird über die Einführung von Hochwasserentstehungsgebieten diskutiert.

## 3.2.4 Zusammenfassender Vergleich der Landeswassergesetze

Die Festlegung von Überschwemmungsgebieten und Gebieten, die bei Versagen eines Deiches potenziell gefährdet sind, dient i.d.R. dazu, auf räumlich begrenzte Flächen bestimmte bautechnische Anforderungen an Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen zu stellen. In **Tabelle 3.2.4.1** sind die wesentlichen rechtlichen Bestimmungen zur Festsetzung von Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten zusammengestellt.

**Tabelle 3.2.4.1**: Gebiete mit tatsächlicher und potenzieller Überschwemmungsgefährdung

| NRW | Sachsen-Anhalt | Sachsen |
|---|---|---|
| **Überschwemmungsgebiete** | | |
| Festlegung der Überschwemmungsgebiete durch behördliche Verordnung § 112 (förmliches Verfahren) | Gebiete zwischen Uferlinie und Hauptdeich oder Hochufer sowie Flutungspolder, § 96 Abs. 3a | Gebiete zwischen Ufer und Deichen sowie Hochwasserschutzräume von Talsperren und Rückhaltebecken, § 100 Abs. 1a |
| Gebiete, die statistisch 1 mal in 100 Jahren überschwemmt werden, soweit in Arbeitskarten dargestellt, § 112 Abs. 3 | Gebiete, die statistisch 1 mal in 100 Jahren überschwemmt werden, soweit in Arbeitskarten dargestellt, § 96 Abs. 6 | Gebiete, die statistisch 1 mal in 100 Jahren überschwemmt werden, soweit in Arbeitskarten dargestellt, § 100 Abs. 1a |
| **überschwemmungsgefährdete Gebiete** | | |
| Im LWG NRW noch nicht eingeführt. | Gebiete, die bei Öffnen oder Versagen eines Deiches oder Hochufers überschwemmt werden können; Grundlage zur Festsetzung: höchste beobachtete Hochwasserereignisse, mindestens ein Hochwasserereignis, mit dem statistisch einmal in hundert Jahren zu rechnen ist. | Gebiete, die bei Versagen eines Deiches überschwemmt werden, § 100 Abs. 7; keine Bemessungsgrundlage angegeben.[2] |

Nur das Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt kennt bislang den Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“, wie er durch die Verabschiedung des „Gesetzes zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“ in das Wasserhaushaltsgesetz [WHG, 2005] eingeführt wurde. Im Sächsischen Landeswassergesetz wird von „Gebieten, die durch Versagen eines Deiches überschwemmt werden können“, ge-

[2] Gebiete, die durch Versagen eines Deiches überschwemmt werden, werden im SächsWG noch unter dem Oberbegriff „Überschwemmungsgebiete“ geführt.

sprochen. Diese Definition kommt inhaltlich dem Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ sehr nahe. Bemessungsansätze für die Festlegung überschwemmungsgefährdeter Gebiete hat derzeit nur Sachsen-Anhalt festgelegt. Nordrhein-Westfalen hat dagegen schon Gefahrenkarten erarbeitet, die nach Auffassung der Berichterstatter jedoch zur Festsetzung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten derzeit rechtlich im Landeswassergesetz nicht verankert sind.

Es ist in naher Zukunft zu erwarten, dass der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ in alle Landeswassergesetze übernommen wird. Somit wird aus der räumlichen Zweiteilung mit der Einführung des „überschwemmungsgefährdeten Gebietes“ zukünftig eine Dreiteilung:

- Überschwemmungsgebiet,
- überschwemmungsgefährdetes Gebiet,
- Gebiete, die nach menschlichem Ermessen nicht überschwemmt werden.

Neben der Verknüpfung der definierten Gebiete mit den technischen Anforderungen, die in den länderspezifischen Verordnungen über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS -Anlagenverordnungen) dargelegt sind, ist die räumliche Feststellung der Überschwemmungsgebiete und der überschwemmungsgefährdeten Gebiete eines der Hauptaufgaben der zuständigen Wasserbehörden. Erst mit der Feststellung der unterschiedlichen Gebiete können auch die technischen Anforderungen von Seiten der Behörden durchgesetzt werden.

Wie schon kurz angesprochen wurde, sind die technischen Anforderungen für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen in den länderspezifischen Verordnungen dargestellt. Sie basieren bezüglich des Hochwasserschutzes u.a. auf den Empfehlungen der verschiedenen Flussgebietskommissionen. Die Empfehlungen der Kommissionen haben selbst jedoch keinen Rechtscharakter.

Zusammengefasst kann festgestellt werden:

- In NRW und Sachsen-Anhalt gilt grundsätzlich ein Verbot der Lagerung von wassergefährdenden Stoffen in festgesetzten Überschwemmungsgebieten.
- Die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten erfolgt in den Ländern durch eine gesetzliche Bestimmung, eine Verordnung oder durch Darstellungen in Arbeitskarten (Sachsen und Sachsen-Anhalt).

- Die einzelnen Landeswassergesetze müssen noch aufgrund der Änderungen im WHG durch das Artikelgesetz vom 3. Mai 2005 angepasst werden.

## 3.3 Hochwassernachrichtendienst

### 3.3.1 Nordrhein-Westfalen

Der Hochwassermeldedienst ist in Nordrhein-Westfalen nicht explizit im Landeswassergesetz geregelt. Der der wasserwirtschaftlichen Datenerhebung zugrunde liegende § 19 des LWG-NRW regelt in Verbindung mit der Zuständigkeitsverordnung, dass die zuständigen Behörden, d.h. die Staatlichen Umweltämter (StUÄ) und das Landesumweltamt NRW (LUA), mindestens nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik die Grundlagen des Wasserhaushalts zu ermitteln haben. Das zeitnahe Versorgen von Adressaten mit Daten zu Niederschlag, Wasserständen und Informationen zur hydrologischen Situation zählt zu den Aufgaben nach § 19 LWG. Daher betreibt die Landesumweltverwaltung ein hydrologisches Messnetz und stellt zentral über das Landesumweltamt aktuelle Wasserstandsdaten von über 100 wichtigen Pegeln in NRW via Internet zur Verfügung.

Für den Rhein in NRW erfolgt der Hochwassermeldedienst auf vertraglicher Grundlage zentral für Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen durch das Hochwassermeldezentrum Mainz [Mehlig, 2002]. Das Land Nordrhein-Westfalen hat aus Kosten- und Effektivitätsgründen diese Vereinbarung mit dem Land Rheinland-Pfalz über die gemeinsame Nutzung des bereits vorhandenen Hochwassermeldezentrums getroffen. An der Weser wird diese Aufgabe von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte in Hannover in Zusammenarbeit mit der Bezirksregierung Detmold erfüllt.

In den „Hochwassermeldeordnungen“ wird an über 20 weiteren Gewässern in NRW ein Hochwassermeldedienst formal geregelt. Beim Hochwassermeldedienst NRW können z.B. die aktuellen Wasserstände der Gewässer in Nordrhein-Westfalen sowie die Pegel mit einer aktuellen Überschreitung der Warnwerte (ausgenommen Rhein und Weser) abgerufen werden.[3]

Die Wasserverbände in NRW (nicht nur die sondergesetzlichen) haben zum Teil recht weitgehende Aufgaben im Bereich des operativen Hochwasserschutzes. Dies kann

[3] Der Hochwassermeldedienst NRW ist auf der Internetseite: www.lanuv.nrw.de abrufbar.

z.B. die Steuerung von Stauanlagen (HW-Rückhaltebecken, Hochwasserschutzräume an Talsperren) oder das Veranlassen operativer Maßnahmen (Pumpen, Kanalisationssteuerung, Schutzwände etc.) beinhalten. Wichtige Grundlage für Entscheidungen in diesen Fällen sind Kenntnisse zur hydrologischen Situation. Unter anderem deshalb betreiben auch die Wasserverbände hydrologische Messnetze. Um in einer Hochwassersituation angemessen reagieren zu können, sind Vorhersagen ebenfalls von Bedeutung. Einige Wasserverbände erstellen daher zur Wahrnehmung ihrer operativen Aufgaben auch Hochwasservorhersagen.

Bei der Wahrnehmung des Hochwassermeldedienstes durch staatliche Behörden in NRW unterstützen die Wasserverbände diese in unterschiedlichem Umfang. Neben dem Zugriff der StUÄ auf Messstellen der Verbände zählen dazu der Austausch bezüglich der hydrologischen Situation und der Steuerung von Stauanlagen.

### 3.3.2 Sachsen-Anhalt

Auf Grund des § 176 des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt wurde die Verordnung über den Hochwassermeldedienst [HWM VO, 1997] am 18. August 1997 erlassen. Sie regelt den Inhalt, die Organisation und die Aufgaben des Hochwassermeldedienstes im Land Sachsen-Anhalt. Der Hochwassermeldedienst dient der frühzeitigen Erkennung der Entstehung sowie des zeitlichen und räumlichen Ablaufs von Hochwasserereignissen. Er unterrichtet Behörden, Betroffene und die Öffentlichkeit, damit Schutzmaßnahmen vor Hochwasser- und Eisgefahren getroffen, Menschenleben geschützt und hochwertige Güter in Sicherheit gebracht werden können. Das Landesamt für Umweltschutz in Halle/Saale ist die Hochwassermeldezentrale des Landes und leitet den Hochwassermeldedienst. Nach § 6 „Aufgaben im Hochwassermeldedienst“ sind die Zuständigkeiten für die einzelnen Gewässer geregelt. In § 8 der Verordnung über den Hochwassermeldedienst sind die Alarmstufen geregelt. Danach werden die Alarmstufen wie folgt definiert:

**Tabelle 3.3.2.1**: Definition der Alarmstufen

| Alarmstufe | Definition |
|---|---|
| Alarmstufe I: | Meldebeginn |
| Alarmstufe II: | Kontrolldienst |
| Alarmstufe III: | Wachdienst |
| Alarmstufe IV: | Hochwasserabwehr |

### 3.3.3 Sachsen

Aufgrund der Erfahrungen vom August 2002 wurde auf der Grundlage des § 104 Abs. 1 und 2 des Sächsischen Wassergesetzes die Verordnung über den Hochwassernachrichten- und Alarmdienst in Sachsen (HWNAV) am 17.8.2004 geändert [HWNAV, 2004]. Gleichzeitig wurde eine umfangreiche Verwaltungsvorschrift zur HWNAV [VwV HWMO, 2004] erlassen.

In § 5 der Verordnung sind die Zuständigkeiten der Behörden im Einzelnen aufgelistet:

- Die Zuständigkeit für den Hochwassernachrichten- und Alarmdienst liegt beim Landeshochwasserzentrum, das beim Landesamt für Umwelt und Geologie angesiedelt ist. Es unterrichtet die Öffentlichkeit über die Gefahrenlage in Sachsen über Rundfunk, Fernsehen usw.
- Die oberste Wasserbehörde ist zuständig für Fragen des amtlichen Hochwassernachrichten- und Alarmdienstes mit verantwortlichen Stellen außerhalb des Freistaates Sachsen.
- Die staatliche Umweltbetriebsgesellschaft ist u.a. verantwortlich für das Messstellennetz (z.B. Pegel- und Niederschlagsmessstellen) sowie für die Übermittlung der Daten an das Landeshochwasserzentrum.
- Die Landestalsperrenverwaltung übermittelt die Informationen über Zu- und Abfluss in den einzelnen Talsperren, Rückhaltebecken und Wasserspeichern an das Landeshochwasserzentrum. Gleichzeitig informiert die Landestalsperrenverwaltung die Unterlieger über die Steuerung der Stauanlagen.
- Die oberen Wasserbehörden bewerten die Informationen und entscheiden über die erforderlichen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, die über das Gebiet der unteren Wasserbehörden hinausgehen.
- Die unteren Wasserbehörden sind zuständig für das Ausrufen der Alarmstufen. Sie bewerten in ihren Zuständigkeitsbereich die eingehenden Informationen und entscheiden über die notwendigen Maßnahmen.
- Die Gemeinden als Träger der Wasserwehr sind zuständig für konkrete Handlungsanweisungen sowie die Information der Öffentlichkeit im Gemeindegebiet. Umgekehrt unterrichten die Gemeinden die unteren Wasserbehörden über eingeleitete Maßnahmen oder besonders gefährdete Bereiche.

Die Alarmstufen sind im Freistaat Sachsen wie folgt definiert:

Alarmstufe 1: Beginn der Ausuferung der Gewässer;

Alarmstufe 2: Überschwemmung land- und forstwirtschaftlicher Flächen, Grünflächen einschließlich Gärten und einzeln stehender Gebäude oder leichte Verkehrsbehinderungen auf Straßen und Notwendigkeit der Sperrung von Wegen; Ausufern von eingedeichten Gewässern bis an den Deichfuß;

Alarmstufe 3: Überschwemmung von Teilen zusammenhängender Bebauung oder überörtlicher Straßen und Schienenwege; bei Volldeichen Wasserstände etwa in halber Deichhöhe; Vernässung von Polderflächen durch Drainagewasser;

Alarmstufe 4: Überschwemmung größerer bebauter Gebiete mit sehr hohen Schäden, unmittelbare Gefährdung für Menschen und Tiere; Erreichen des Bemessungswasserstandes bei Volldeichen oder unmittelbare Gefahr von Volldeichbrüchen.

In § 6 „Durchführung des Hochwassernachrichten und Alarmdienstes“ wird festgelegt, dass die Übermittlung von Informationen durch den Empfänger innerhalb einer Stunde bestätigt werden muss. Dadurch soll die Kontrolle der Informationswege sichergestellt werden.

## 3.4 Empfehlungen der Flussgebietskommissionen

Die nachfolgende Zusammenfassung der Empfehlungen der Flussgebietskommissionen basieren auf den Aussagen der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) sowie der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR). Darüber hinaus wurden in Deutschland eine Reihe weiterer Aktionspläne, wie z.B. der „Aktionsplan Hochwasser Nahe“ oder der „Aktionsplan vorsorgender Hochwasserschutz Weser“, erarbeitet, wobei sich deren Ergebnisse im Wesentlichen mit den Vorschlägen der IKSE und der IKSR decken.

Vor dem Hintergrund des Augusthochwassers im Jahre 2002 aktualisierte insbesondere die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) ihre Empfehlungen, bzgl. Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Hochwassergebieten [IKSE, 2003], die im Folgendem Abschnitt näher vorgestellt werden, um anschließend

deren Umsetzung in die Anlagenverordnungen der Länder Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Sachsen zu prüfen.

Neben den Vorschlägen der Flussgebietskommissionen wurden bzgl. der Bauvorsorge weitere Empfehlungen von verschiedenen Institutionen erarbeitet, wie z.B. die Hochwasserschutzfibeln des Umweltministeriums von NRW [MURL, 1999] sowie die des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [BMVBS, 2006].

### 3.4.1 IKSE

Die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) hat mit Stand vom 24. Oktober 2003 ihren „Aktionsplan Hochwasserschutz Elbe“ veröffentlicht [IKSE, 2003]. Dieser Aktionsplan wurde durch die Arbeitsgruppen „Hochwasserschutz“ und „Hydrologie“ der IKSE in Zusammenarbeit mit dem Sekretariat der IKSE auf der Grundlage der durch die zuständigen Dienststellen und Behörden in der Tschechischen Republik und in der Bundesrepublik Deutschland bereitgestellten Daten erarbeitet.

In dem Aktionsplan der IKSE werden auf der Basis einer umfassenden Bestandsaufnahme des vorhandenen Hochwasserschutzniveaus im Einzugsgebiet der Elbe und einer sorgfältigen Analyse des Hochwassers vom August 2002 vorrangig Maßnahmen zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vorgeschlagen. Die schrittweise Umsetzung dieser Maßnahmen soll dazu beitragen, die Schäden künftiger Hochwasserereignisse zu begrenzen. Die Hauptpunkte des Aktionsplanes Hochwasserschutz Elbe sind:

- Erarbeitung von Grundsätzen zur
  - Erhöhung der Retentionswirkung der Einzugsgebietsfläche
  - Abgrenzung, Festsetzung und Nutzung von Überschwemmungsgebieten

- Bearbeitung von Studien für die
  - Ermittlung von Hochwasserrisiken und Hochwasserschäden
  - Reaktivierung ehemaliger Überschwemmungsflächen
  - Beurteilung der Wirkung großer Talsperren auf den Hochwasserverlauf in der Elbe

- Beseitigung der technischen Schwachstellen an den Deichen der Elbe und den Rückstaudeichen der Elbenebenflüsse in Deutschland

- Durchführung technischer Maßnahmen des Hochwasserschutzes auf der Grundlage von Studien der Abflussverhältnisse für die am meisten gefährdeten Städte und Gemeinden in der Tschechischen Republik

- Verbesserung des Hochwasserinformationssystems durch
  - Aufbau eines gemeinsamen internationalen Hochwasservorhersagesystems
  - Modernisierung der technischen Ausrüstung der Hochwassermelde- und -vorhersagepegel

- Erarbeitung von Handlungsempfehlungen
  - für Anforderungen an technische Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen in hochwassergefährdeten Gebieten
  - zur Verbesserung der Hochwasserabwehr und der Eigenvorsorge
  - zur Verbesserung der Information der Öffentlichkeit und Verstärkung des Hochwasserbewusstseins

Im Jahre 2006 wurde von der IKSE ein „Erster Bericht über die Erfüllung des Aktionsplans Hochwasserschutz Elbe“ vorlegt [IKSE, 2006]. Danach wurde u.a. vor allem das Hochwassermelde- und Hochwasservorhersagesystem technisch erheblich verbessert. Auch die Zusammenarbeit zwischen den deutschen Bundesländern an der Elbe sowie der Tschechischen Republik wurde intensiviert. In diesem Zusammenhang wurde im Jahr 2004 ein überarbeiteter „Internationaler Warn- und Alarmplan Elbe“ beschlossen, der die systematische Weiterleitung von Informationen über unfallbedingte Gewässerbelastungen im Elbeeinzugsgebiet regelt. Zudem wurde das Alarmmodell (ALAMO) entwickelt, mit dem die Ausbreitung von Schadstoffwellen in der Elbe berechnet werden kann und das die Information der Elbeanrainer regelt (vgl. Kapitel 7.6.3.3). Gegenwärtig wird in Weiterführung bereits bestehender Unterlagen für hochwassergefährdete Gebiete eine Bestandsaufnahme von technischen Anlagen mit wassergefahrdenden Stoffen und Altlasten vorbereitet.

Darüber hinaus wurde eine Vielzahl von Maßnahmen zur Erweiterung der Retentionsflächen vorgenommen. Bzgl. der Ermittlung von Hochwasserrisiken und Hochwasserschäden wurden zahlreiche Pilotprojekte in Angriff genommen, die derzeit jedoch noch nicht abgeschlossen sind. Ein weiterer Bericht soll im Jahre 2008 vorgelegt werden.

Die „Anforderungen an technische Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Hochwassergebieten oder einstaugefährdeten Bereichen“ wurden von der IKSE auf ihrer 11. Tagung am 19.10. und 20.10.1998 in Karlsbad als Empfehlung verabschiedet. Die Empfehlungen wurden auf der Grundlage der Erkenntnisse aus dem Elbehochwasser im August 2002 aktualisiert. Sie gelten auch für abwassertechnische Anlagen sowie weitere Anlagen der Infrastruktur mit hohem Gefährdungspotenzial. Die Handlungsempfehlungen der IKSE beziehen sich auf Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen, Anlagenteile (einschließlich Rohrleitungen) und Sicherheitsvorrichtungen, die durch Einstau beeinflusst werden können. Sie konkretisieren sich wie folgt:

1. Unterirdische Lageranlagen

- Unterirdische Behälter und Rohrleitungen sind gegen Auftrieb zu sichern, z.B. durch
  - Erhöhen der Erdüberdeckung,
  - Aufbringen einer den Behälter überdeckenden Betonplatte oder
  - Verankerung mit Stahlbändern in einer Betonbodenplatte.

  Die Auftriebssicherung muss mit mind. 1,3-facher Sicherheit gegen Aufschwimmen der leeren Behälter – bezogen auf den völligen Einstau der Behälter – nachgewiesen werden.

- Unterirdische Behälter und Rohrleitungen müssen den beim Einstau auftretenden äußeren Wasserdruck sicher aufnehmen können, d.h., sie müssen statisch für diesen Fall ausgelegt sein. Dies ist in einer Herstellerbescheinigung nachzuweisen.

2. Oberirdische Anlagen im Freien

- Behälter und Anlagenteile müssen gegen Abschwemmen und gegen mechanische Beschädigungen durch Treibgut und ähnliches geschützt werden.
- Behälter und Anlagenteile dürfen den freien Hochwasserabfluss nicht beeinträchtigen.
- Die Unterkante von Behältern muss oberhalb der Wasserspiegellagen liegen, die einem Wiederkehrintervall von $HQ_{100}$ entsprechen.
- Rohrleitungen sind so anzuordnen, dass sie oberhalb der Wasserspiegellagen liegen, die einem Wiederkehrintervall von $HQ_{100}$ entsprechen.

## 3. Oberirdische Anlagen in Gebäuden

- Behälter müssen auftriebssicher aufgestellt werden. Die Auftriebssicherung kann z.B. erfolgen durch
  - Verankerung mit Stahlbändern im Boden,
  - Verankerung mit Stahlbändern in den Seitenwänden oder
  - Abstützung mit Stahlstreben gegen die Lagerraumdecke.
- Boden, Seitenwände oder Decke des Lagerraumes müssen von ihrer Beschaffenheit her in der Lage sein, die Auftriebskräfte sicher aufzunehmen. Dieses muss von einem Statiker beurteilt werden.
- Stehen Behälter in beschichteten Auffangräumen, sind Verankerungen im Bereich der Beschichtung möglichst zu vermeiden. Sofern dies nicht vermieden werden kann, ist auf eine sorgfältige Abdichtung im Bereich der Verankerungen zu achten.
- Werden Behälter durch Verankerung in den Seitenwänden oder Abstützung gegen die Decke gegen Auftrieb gesichert, muss darauf geachtet werden, dass Drehbewegungen der Behälter nicht möglich sind.
- Die Auftriebssicherung muss mit mind. 1,3-facher Sicherheit gegen Aufschwimmen der leeren Behälter – bezogen auf den völligen Einstau der Behälter – nachgewiesen werden.
- Behälter müssen den beim Einstau auftretenden äußeren Wasserdruck sicher aufnehmen können, d.h. sie müssen statisch für diesen Fall ausgelegt sein. Dies ist in einer Herstellerbescheinigung nachzuweisen.

## 4. Anlagenteile

- Entlüftungsleitungen sind so zu führen, dass ihre Mündungen nicht überflutet werden können. Sie sind in ihrer gesamten Länge fest zu verankern und so auszuführen, dass sie durch äußeren Wasserdruck oder Treibgut nicht beschädigt werden können. Bei Verlängerung der Entlüftungsleitung ist von der Fachfirma zu überprüfen, ob die Behälter für den bei etwaigen Überfüllungen eintretenden Innendruck statisch ausgelegt sind. Müssen die Entlüftungsleitungen höher als zulässig nach oben geführt werden (z.B. bei Behältern mit 0,3 bar Prüfüberdruck um mehr als 3 m über der Behältersohle), sind auf diesen Fall bezogene Lösungen erforderlich (z.B. Verwendung von Behältern mit höheren zulässigen Prüf- oder Betriebsüberdrücken). Das Absperren von Entlüftungsleitungen ist nicht zulässig.

- Befüllanschlüsse sind – sofern sie überflutet werden können – mit Dichtungen abzudichten. Die Dichtung darf nur während des Befüllvorganges entfernt werden.
- Rohrleitungen (Füll-, Verbindungs- und Entnahmeleitungen) sind in ihrer gesamten Länge fest zu verankern und so auszuführen, dass sie nicht beschädigt werden können.
- Alle Öffnungen in den Behältern und Rohrleitungen sind – sofern sie nicht überflutungsfrei angeordnet werden können – wasserdicht auszuführen.
    - Dichtungen von Domdeckeln sind von einer Fachfirma einstausicher ausführen zu lassen. Das Nachziehen von Schrauben genügt dann nicht, wenn Dichtungen unsachgemäß (z.B. überlappend) eingelegt sind. Die Dichtheit ist durch eine Herstellerbescheinigung bestätigen zu lassen.
    - Domdeckel ohne Verschraubungen müssen so arretiert sein, dass sie bei Überflutungen durch etwaige Strömung nicht verschoben werden können. In Zweifelsfällen ist eine nachträgliche Verschraubung vorzunehmen.
    - Bei Füllstandsanzeigen mit Kunststoffgehäuse, die auf dem Behälter montiert sind (sog. Schwimmergeräte), ist davon auszugehen, dass eine ausreichende Dichtheit nicht gewährleistet ist. Derartige Geräte sind, sofern die vollständige Überflutung des Behälters zu besorgen ist, zu entfernen; der Anschluss am Behälter ist mit einem Stopfen dicht zu verschrauben. Alternativ kann auch ein pneumatischer Füllstandsanzeiger montiert werden.

Auch zur Verbesserung der Hochwasserabwehr und der Eigenvorsorge von gefährdeten Bürgern und Unternehmen schlägt die IKSE Handlungsempfehlungen vor. Insbesondere Gewerbe- und Industriebetriebe sollten zur Schadensverhütung bzw. Schadensminimierung folgende Sicherheitsmaßnahmen als Vorsorge leisten:

- Dauerhafte Verlagerung von empfindlichen Einrichtungen und Geräten, sowie von gefährlichen oder gefährdeten Tanks oberhalb des zu erwartenden maximalen Hochwasserstandes,
- Bau/Errichtung stationärer (Damm, Spundwand, Mauer) oder mobiler (Dammbalken, Hochwasserschutzwand) Absperrungen,
- Einbau wasserfester Armaturen in Schächte, Kanäle, Tanks, Leitungen u. a.,
- Verankerung von Tanks, Silos und tragbaren Behältern bzw. Lagereinrichtungen gegen Auftriebs- oder Strömungskräfte.

Bei Überschwemmungsgefahr sind folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- Konstruktive Verstärkung von potenziell gefährdeten Anlagenbestandteilen gegen Strömungskräfte und Treibgut durch temporäre Schutzeinrichtungen,
- Rechtzeitige Gebäudeabdichtungen (Sandsäcke, passgenaue Abdichtungen) bis zum maximal zulässigen Hochwasserstand; ggf. planmäßige Gebäudeflutung,
- Laufende Prozesse sicher abschalten, entflammbare oder brennbare Flüssigkeiten und wassergefährdende Stoffe aus offenen Tanks entfernen,
- Strom am Hauptschalter abstellen, wenn Kurzschlüsse im Gelände möglich sind,
- Alle Leitungen für entflammbare und brennbare Flüssigkeiten und Gase sowie wassergefährdende Stoffe entleeren oder verschließen, um den Austritt von Flüssigkeiten oder Gasen aus eventuell beschädigten Leitungen zu verhindern; exponierte Rohrleitungen absichern,
- Bremsen an fahrbaren Kränen und Brücken überprüfen und entprechend den Herstelleranweisungen fixieren,
- Hochwasserbekämpfungsmittel an geeigneten, sicheren Orten bereithalten (z.B. Dammbalken neben den Durchfahrtsöffnungen).

### 3.4.2 IKSR

Die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) hat im Januar 1998 die Umsetzung des „Aktionsplans Hochwasser“ bis zum Jahr 2020 beschlossen [IKSR, 1998]. Zweck dieses Aktionsplanes ist es, Menschen und ihre Güter vor Hochwasser zu schützen und gleichzeitig den Rhein und seine Auen ökologisch zu verbessern. Der Aktionsplan Hochwasser ist ausgerichtet auf folgende Handlungsziele:

- Minderung der Schadenrisiken,
- Minderung der Hochwasserstände,
- Verstärkung des Hochwasserbewusstseins und
- Verbesserung des Hochwassermeldesystems.

Mit dem Ziel, die Bevölkerung für das Thema Hochwasser zu sensibilisieren, hat die IKSR im Jahr 2002 den Bericht „Hochwasservorsorge – Maßnahmen und ihre Wirksamkeit“ ausgearbeitet, der eine Übersicht der möglichen Maßnahmen in hochwasser-

gefährdeten Gebieten zur Minderung des Schadenrisikos und zur Begrenzung des Schadenausmaßes bei verschiedenen Hochwasserereignissen bietet [IKSR, 2002]. Der Bericht basiert auf unterschiedlichen Untersuchungsergebnissen aus den Niederlanden, Deutschland, Frankreich und der Schweiz. Die aufgeführten Maßnahmen beschränken sich nicht nur auf das Rheineinzugsgebiet, sondern können im Prinzip auf alle hochwassergefährdeten Gebiete übertragen werden.

Die tatsächliche Wirksamkeit der Maßnahmen ist abhängig von der lokalen Situation. Bei einer kurzen Vorwarnzeit ist im Ereignisfall die Auswahl geeigneter Maßnahmen sehr beschränkt. Auch bei großen Wassertiefen von über 2 m steht nur eine begrenzte Art von Maßnahmen zur Verfügung. Wo aber eine eigene Erfahrung vorliegt, besonders in Gebieten mit häufiger und begrenzter Überschwemmungstiefe, können die Schäden entscheidend verringert werden. Daher ist jede Region gefordert, die für sie effizienten Maßnahmenbausteine zu evaluieren.

Als Voraussetzung für wirksame Hochwasservorsorgemaßnahmen sieht die IKSR die Kenntnis der Gefahr mit allen wesentlichen Parametern wie Wahrscheinlichkeit, Art und Intensität der Einwirkung. Diese Kenntnis muss überzeugend an alle Akteure vermittelt werden. Durch gute Vorhersagen kann eine höherwertige Nutzung gefährdeter Gebiete ermöglicht werden. Jedoch entfalten Vorhersagen ihre volle Wirkung nur im Zusammenhang mit geplanten und geübten Maßnahmen.

Als Voraussetzung für richtiges Verhalten bei Hochwasser sieht die IKSR die Planung möglicher Handlungen, die auf die Vorwarnzeit abgestimmt sein müssen. Das Aus- und Umräumen von Mobiliar in Wohnbauten kann, je nach vorhandener Vorwarnzeit, die Inventarschäden um 20 - 80 % reduzieren, wobei die Vorwarnzeit mindestens 4 Stunden betragen sollte.

Bei Industrie und Gewerbe erfordert die Räumung aufgrund der großen Mengen eine eingespielte Organisation. Allerdings kann sie in diesem Bereich aufgrund der hohen Werte, der verkürzten Betriebsunterbrechung und vermiedener Lieferschwierigkeiten sehr wirkungsvoll sein. Die Inhalts- und Betriebsunterbrechungsschäden fallen meist höher aus als die eigentlichen Gebäudeschäden.

Die IKSR weist als besondere Risikofaktoren Ölheizungen aus. Sind diese gesichert, so können die Schäden an Gebäuden um 50 - 65 % reduziert werden. Bei länger andauerndem Einstau in Wohngebieten kann ausgelaufenes Heizöl zu einer Verdoppelung bis Verdreifachung des Schadenausmaßes führen, da Öl sich auch in wasserunempfindlichen Gebäudeteilen wie Fliesen festsetzen kann und so umfangreiche

Sanierungsarbeiten, wie z.B. Erneuerung von Decken, Estrich, Fliesen, Anstrich und Putz sowie Austausch von Wänden (Mauerwerk, Holz) nach sich zieht.

Schäden an Industrie- und Gewerbebauten übersteigen diejenigen von Wohnbauten um etwa das Doppelte. Abdichtungs- und Abschirmungsmaßnahmen sind besonders effektiv, weil sie auch eine Betriebsunterbrechung verkürzen. Gelagerte Stoffe sind allgemein hinsichtlich ihrer Giftigkeit, Brand- und Explosionseigenschaften und ihrer Ökotoxizität zu beurteilen. Aufgrund einer möglichen Freisetzung von wassergefährdenden Stoffen bei Überschwemmungen ist nicht nur wegen der finanziellen, sondern auch wegen der Umweltschäden Vorsorge zu betreiben. Die beste Vorsorge besteht in der Lagerung von gefährdenden Stoffen außerhalb des hochwassergefährdeten Gebietes oder in der erhöhten Anordnung der Lagerflächen. Je nach Art und Menge der Stoffe sowie den betrieblichen Anforderungen müssen individuelle Lösungen gefunden werden.

Ein wesentlicher Aspekt in der Wirksamkeitsstudie der IKSR ist die Bauvorsorge. Angepasstes Bauen in Kombination mit verschiedenen temporären Maßnahmen des Objektschutzes ist er einzige Weg, das bestehende Schadenspotenzial in Siedlungsgebieten ohne grundlegende Nutzungsänderung zu verringern. Unterschieden wird in nasser und trockener Bauvorsorge.

Im Bereich der Industrie und des Gewerbes ist die Bauvorsorge sehr vielfältig und je nach Branche anders gelagert. Schäden infolge Betriebsunterbrechung sind auch bei guter Vorsorge nur zu verkürzen, aber kaum zu vermeiden. Gegebenenfalls kann es sinnvoll sein, eine temporäre Produktionsverlagerung einzuplanen oder die Lagerbewirtschaftung auf eine mögliche Unterbrechungsdauer auszurichten.

#### 3.4.2.1 Nasse Vorsorge

Die nasse Bauvorsorge umschreibt Maßnahmen zur Minimierung von Hochwasserschäden mittels angepasster Gebäudenutzung sowie Gebäudeausstattung. Das Prinzip der nassen Vorsorge zeigt **Abbildung 3.4.2.1.1**. In **Abbildung 3.4.2.1.2** ist ein mögliches Konzept zur Installation der Versorgungseinrichtungen dargestellt.

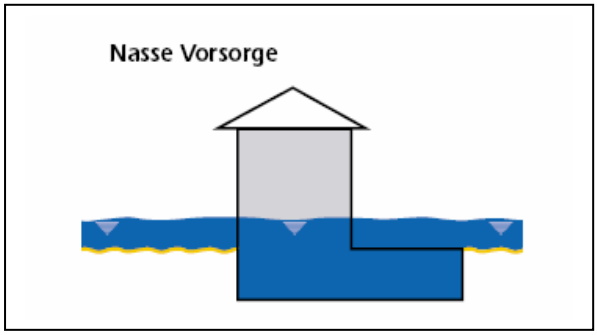



**Abbildung 3.4.2.1.1**: Prinzip der nassen Bauvorsorge

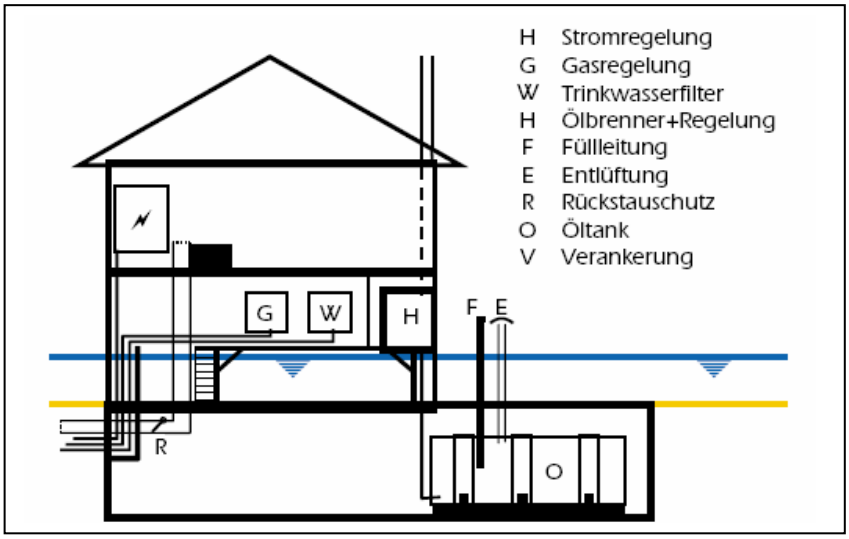



**Abbildung 3.4.2.1.2**: Konzept der Versorgungseinrichtungen

Anpassen der Nutzung

Bei bestehenden Gebäuden erfolgt die Schadenminderung durch den Verzicht auf empfindliche Nutzungen von Räumen unterhalb der Überschwemmungshöhe. Bei Neubauten wird der Schaden minimal gehalten, wenn das Nutzungskonzept des Gebäudes die Überschwemmungsgefährdung vollständig berücksichtigt. Mögliche Maßnahmen sind:

- Der Verzicht auf einen Keller bzw. auf Untergeschosse vermindert den durchschnittlichen Gesamtschaden um 3.000 bis 6.000 €.
- Eine hochwassersichere Ausstattung des Öltanks oder die Wahl einer Gasheizung anstelle einer Ölheizung bringt wegen der geringeren Folgeschäden Einsparungen von mind. 50 %.

- Die Anordnung von Hauptschaltern und Verteileinrichtungen oberhalb der Überschwemmungshöhe ermöglicht eine Benutzung der oberen Geschosse auch während des Hochwassers.

Anpassen der Ausstattung

Durch die Verwendung von möglichst wasserresistenten oder unempfindlichen Materialien fallen im Idealfall lediglich Reinigungs- und Trocknungskosten in der Höhe von 1.500 bis 3.000 € an. Die Trocknungskosten können sich bei älteren Gebäuden in den Wintermonaten um das 3- bis 5 fache erhöhen.

### 3.4.2.2 Trockene Vorsorge

Während bei der nassen Vorsorge ein Überfluten der Kellerräume bzw. der Untergeschosse zugelassen ist, wird mit den Maßnahmen der trockenen Bauvorsorge versucht, das Eindringen des Hochwassers in das Gebäudeinnere zu verhindern. Hierzu werden die Gebäude entweder von außen abgedichtet oder komplett mittels Hochwasserbarrieren abgeschirmt.

Abdichtung

Die vollständige Abdichtung von Gebäuden bewirkt eine Freihaltung des Gebäudeinneren vor der Wassereinwirkung. Als Schäden treten eine verschmutzte und nasse Außenfassade auf. Das Prinzip der Abdichtung zeigt **Abbildung 3.4.2.2.1**.

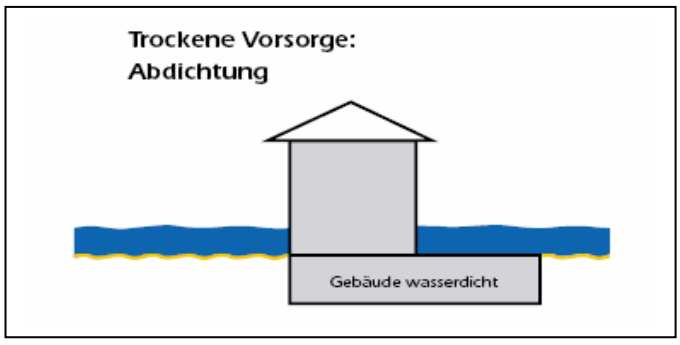



**Abbildung 3.4.2.2.1**: Prinzip der trockenen Bauvorsorge mittels Abdichtung

Hinsichtlich der Abdichtungsmaßnahmen differenziert die IKSR zwischen bestehenden Gebäuden und Neubauten:

*bestehende Gebäude*

- Sind Gebäudefassade und Keller dicht, beschränkt sich die Abdichtung auf die Gebäudeöffnungen. Möglichkeiten sind: Wasserdichte Türen und Fenster oder bei genügender Vorwarnzeit mobile Dammbalken und behelfsmäßige Maßnahmen (z.B. Sandsäcke und Folie).
- Ist die Gebäudefassade undicht, so kann sie durch vorgesetzte Dammbalken oder durch eine Folie abgedichtet werden. Eine nachträgliche permanente Abdichtung von Gebäuden mit undichtem Keller ist mit erheblichem Aufwand verbunden, da das gesamte Bauwerk freigelegt werden muss.
- Ist der Keller nicht abgedichtet, können geringe anfallende Wassermengen fortlaufend abgepumpt werden, so dass lediglich nasse Wände und ein nasser Kellerboden zu trocknen und zu reinigen sind. Ist der Keller nicht auftriebssicher, muss dieser teilweise oder vollständig mit sauberem Wasser geflutet werden, um die Standsicherheit zu gewährleisten.
- Der Gefahr durch Auftrieb und Rückstau aus der Kanalisation ist bei Gebäudeabdichtungen in jedem Falle genügend Beachtung zu schenken.

*Neubauten*

- Neubauten können mittels weißer oder schwarzer Wanne wasserdicht erstellt werden. Bei der weißen Wanne werden Sperrbeton und wasserdichte Fugen verwendet. Bei der schwarzen Wanne handelt es sich um Konstruktionen mit Wassersperrschicht (Bitumenabdichtung).

Abschirmung

Durch eine Abschirmung wird das Wasser vom Gebäude ferngehalten, was einen Einfluss auf die Ausbreitung und Intensität der Überschwemmung ausüben kann. Bei ihrem Einsatz darf die Gefährdung von benachbarten Objekten nicht erhöht werden. Das Prinzip der Abschirmung zeigt **Abbildung 3.4.2.2.1**.

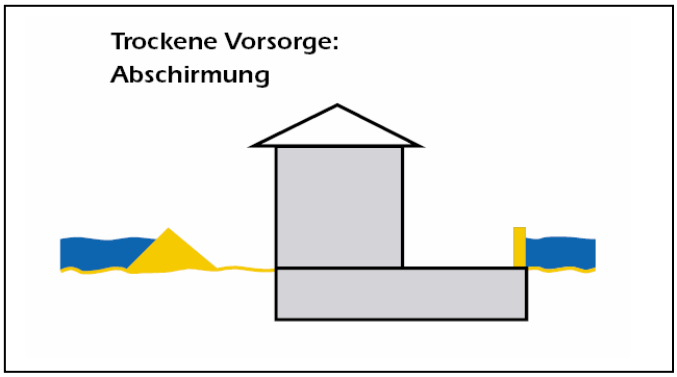



**Abbildung 3.4.2.2.1**: Prinzip der trockenen Bauvorsorge mittels Abschirmung

Maßnahmen der Abschirmung sind z.B. eine erhöhte Anordnung von Neubauten sowie die Errichtung von permanenten oder mobilen Barrieren.

Erhöhte Anordnung

Die erhöhte Anordnung ist eine sehr effiziente und preisgünstige Variante zum Schutz von Neubauten. Nachfolgende Möglichkeiten sind durchführbar:

- Die Anordnung auf Stützen lässt viel gestalterischen Freiraum und die Möglichkeit, den Raum unter dem Gebäude als Parkplatz zu nutzen.
- Die Anordnung auf Mauern erweitert die Nutzungsmöglichkeiten eines Gebäudes.
- Die Anordnung auf Schüttung ist vor allem bei angrenzenden Hanglagen sehr kostengünstig und sinnvoll bei hohem Grundwasser.

Permanente oder mobile Barrieren

Die Erstellung eines Dammes oder einer Mauer stellt eine permanente Maßnahme dar. Die Zufahrt kann durch eine Rampe oder ein wasserdichtes Tor sichergestellt werden.

Als temporäre Maßnahme können hochziehbare oder hochklappbare Konstruktionen vorgesehen werden. Bei größerer Vorwarnzeit sind zudem mobile Dammbalkensysteme einsetzbar.

Bei allen Abschirmungen durch Barrieren bleiben Schäden durch Grundwasser, sofern nicht besondere Vorkehrungen gegen diese Gefahrenart getroffen werden.

### 3.4.3 Zusammenfassende Bewertung der Empfehlungen der Flussgebietskommissionen

Die Empfehlungen der IKSE sind bezüglich der Anforderungen an Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen sehr konkret und umfassen sogar Auslegungshinweise. Die IKSR setzt dagegen den Schwerpunkt ihrer Empfehlungen mehr auf den Bereich der Bauvorsorge. Es werden auch Hinweise zur Sicherheit von Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen gegeben. Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Anlagensicherheit und die Bauvorsorge zwei bedeutende Aspekte des vorbeugenden Hochwasserschutzes sind. In diesem Zusammenhang wird auch auf die VDI-Richtlinie 6004, Blatt 1 „Schutz der Technischen Gebäudeausrüstung“ verwiesen, die sich analog der IKSR Empfehlungen mit der Bauvorsorge vor Hochwasser befasst [VDI, 2006], wobei sich die wesentlichen Aussagen zur Bauvorsorge decken.

Beide Flussgebietskommissionen gehen in ihren Empfehlungen davon aus, dass die gelagerten Stoffe nicht in das Wasser gelangen dürfen. Insofern spielt die Gefährlichkeit der gelagerten Stoffe keine Rolle. Der Fall, dass Stoffe freigesetzt werden, wird in beiden Empfehlungen nicht betrachtet. Darüber hinaus gelten die Empfehlungen nur für VAwS-Anlagen in Überschwemmungsgebieten. Sie gelten nicht für überschwemmungsgefährdete Gebiete und auch nicht für Betriebsbereiche im Sinne der Störfall-Verordnung insgesamt.

Weil im Rahmen dieses Forschungsvorhabens u.a. Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen näher betrachtet werden, also der Gesichtspunkt der Anlagensicherheit betont wird, werden für die folgenden Erläuterungen der länderspezifischen Anlagenverordnungen die Empfehlungen der IKSE als Maßstab herangezogen.

## 3.5 Anlagenverordnungen der Länder (VAwS)

Obwohl seit der Grundgesetzänderung im Jahre 2006 die Gesetzgebungskompetenz u.a. für Anlagen ausschließlich beim Bund liegt (Grundgesetz, 2006), gelten bis zur Verabschiedung einer VAwS-Anlagenverordnung durch den Bund noch die Anlagenverordnungen der Länder.

### 3.5.1 Begriffsbestimmungen

Der anlagenbezogene Gewässerschutz ist in § 19 g - l WHG als Rahmenanforderung formuliert. Nach § 19 g Abs. 1 müssen Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (im Folgenden als VAwS-Anlagen bezeichnet) so beschaffen sein und so eingebaut, aufgestellt, unterhalten und betrieben werden, dass eine Verunreinigung der Gewässer nicht zu besorgen ist (Besorgnisgrundsatz).

VAwS-Anlagen sind unterteilt in:

- Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (LAU)
- Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden (HBV) wassergefährdender Stoffe
- (eigenständige) Rohrleitungsanlagen innerhalb von Werksgeländen

In der VAwS des Landes Sachsen-Anhalt [VAwS LSA, 2006] werden zusätzlich Anlagen zum Befördern innerhalb von Werksgeländen definiert. Für Rohrleitungsanlagen („Altanlagen“) außerhalb von Werksgeländen gelten die Bestimmungen des § 19a WHG. In Absatz 1 wird für neue Anlagen auf die für diese gültigen Bestimmungen der §§ 20-23 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) verwiesen (§ 20 UVPG Planfeststellungsverfahren).

Wassergefährdende Stoffe im Sinne der §§ 19g - l sind feste, flüssige und gasförmige Stoffe, insbesondere

- Säuren, Laugen,
- Alkalimetalle, Siliziumlegierungen mit über 30 % Silizium, metallorganische Verbindungen,
- Halogene, Säurehalogenide, Metallcarbonyle und Beizsalze,

- Mineral- und Teeröle sowie deren Produkte,
- flüssige sowie wasserlösliche Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Ester, halogen-, stickstoff- und schwefelhaltige organische Verbindungen,
- Gifte, die geeignet sind, nachhaltig die physikalische, chemische oder biologische Beschaffenheit des Wassers nachteilig zu verändern.

Im Einzelnen sind die wassergefährdenden Stoffe in der Verwaltungsvorschrift für wassergefährdende Stoffe [VwVwS, 1999] des Bundes vom 29.05.1999 (geändert am 27. Juli 2005) aufgeführt.

### 3.5.2 Grundsatzanforderungen für VAwS-Anlagen

Die noch recht allgemein gehaltenen Vorgaben des Bundes werden durch die Länder in ihren Anlagenverordnungen (Länder-VAwS, hier: Nordrhein-Westfalen [VAwS NRW, 2004], Sachsen-Anhalt [VAwS LSA, 2006] und Sachsen [SächsVAwS, 2000]) präzisiert. Im § 19 g Abs. 4 WHG wird auf die landesrechtlichen Vorschriften für das Lagern von wassergefährdenden Stoffen in Wasserschutz-, Quellenschutz-, Überschwemmungs- oder Plangebieten hingewiesen. Die diesbezüglichen landesrechtlichen Vorschriften bleiben von den Bestimmungen des § 19 g ff. WHG unberührt.

Bei allen VAwS-Anlagen sind mindestens die allgemein anerkannten Regeln der Technik anzuwenden. Diese sind in den einzelnen Bundesländern i.d.R. über die Gesetzesblätter eingeführt. Es handelt sich dabei u.a. um Normen (DIN, ISO, EN) und technische Regeln wie Technische Regeln für wassergefährdende Stoffe (TRwS), Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF 20-Läger, TRbF 30-Füllstellen, TRbF 40-Tankstellen, TRbF 50-Rohrleitungen, TRbF 60-ortsbewegliche Behälter), Technische Regeln für Druckbehälter (z.B. Aufstellung der Druckbehälter TRB 600), sowie um die Regeln der Bautechnik.

In den Anforderungen/Grundsatzanforderungen der VAwS (generell § 3 VAwS der jeweiligen Länder) wird als erste und vorrangige Anforderung bestimmt, dass Anlagen so beschaffen sein und betrieben werden müssen, dass wassergefährdende Stoffe nicht austreten können, und dass sie dicht, standsicher und gegen die zu erwartenden mechanischen, thermischen (in Sachsen: physikalischen) und chemischen Einflüsse hinreichend widerstandsfähig sein müssen.

Ohne dass diese Anforderungen in den Länder-VAwS näher präzisiert werden, sind sie auch im Sinne einer hochwassersicheren Ausführung sowie einen hochwassersicheren Betrieb von VAwS-Anlagen zu interpretieren. Die Ausführung der Anlagen muss auch bei Hochwasserereignissen dicht und standsicher und gegen die dann auftretenden mechanischen Belastungen gesichert und beständig sein.

Für die Einhaltung der Vorschriften und die Eigenüberwachung sind die Betreiber zuständig. Dort fehlt häufig, insbesondere bei privaten Heizölverbraucheranlagen, die Detailkenntnis über die Anforderungen der jeweiligen VAwS.

Die Fremdüberwachung der Anlagen erfolgt durch zugelassene Sachverständige nach den §§ 11, 12 VAwS NRW, §§ 22, 23 VAwS SachsA, §§ 20, 21 SächsVAwS. Nach §19 i WHG (Pflichten des Betreibers) sind die Anlagen grundsätzlich zu prüfen:

1. vor Inbetriebnahme oder nach einer wesentlichen Änderung,
2. spätestens fünf Jahre, bei unterirdischer Lagerung in Wasser- und Quellenschutzgebieten spätestens zweieinhalb Jahre nach der letzten Überprüfung,
3. vor der Wiederinbetriebnahme einer länger als ein Jahr stillgelegten Anlage,
4. wenn die Prüfung wegen der Besorgnis einer Wassergefährdung angeordnet wird,
5. wenn die Anlage stillgelegt wird.

Die Länder haben Ausnahmen bestimmt, die die Fremdüberwachung für einen Großteil der Anlagen, insbesondere für oberirdische Anlagen, erheblich einschränkt. Eine Überprüfung der Regelung macht Sinn, insbesondere in den Bundesländern, in denen Überschwemmungsgebiete rechtlich nicht den Schutzgebieten (Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete) gleichgestellt sind. Sind Anlagen in Gebieten betroffen, die (bisher) nicht als Überschwemmungsgebiete gelten, gilt dies umso mehr.

### 3.5.3 Sonderregelungen für bestimmte Anlagen

Für bestimmte Anlagen, für die die Anforderungen der VAwS nicht oder nur schwer umsetzbar sind, wie z.B. Trafostationen als Sondertyp der HBV-Anlagen, oder für Anlagentypen, die in großer Zahl vorkommen, wie z.B. Tankstellen als Sondertyp der Abfüll-Anlagen, verweisen einige Bundesländer in Querverweisen auf andere techni-

sche Regelwerke oder haben in ihren VAwS für bestimmte Anlagen Sonderregelungen entwickelt. In diesen Sonderregelungen sind insbesondere technische Konkretisierungen für die Ausführung der bestimmten Anlagen enthalten.

Ein Querverweis zu Tankstellen mit brennbaren Flüssigkeiten wie z.B. Ottokraftstoffe oder Flugbenzin und Kerosin findet sich in der VAwS NRW Anhang zu § 4 VAwS Nr. 2.2 Fußnote 2. Hier wird auf die Verordnung für brennbare Flüssigkeiten (VbF) bzw. auf die Betriebssicherheitsverordnung [BetrSichV, 2002] Bezug genommen. Für Sachsen-Anhalt gibt es derzeit keine besonderen Anforderungen für Tankstellen, die über die VAwS hinausgehen.

Einige Länder haben noch andere Vorgehensweisen gewählt. So hat Hessen die technischen Anforderungen für Tankstellen in seiner VAwS integriert, während Bayern einen spezifischen Anhang zur VAwS angefügt hat. Die DWA als technisch-wissenschaftliche Vereinigung entwickelt derzeit Technische Regeln (TRwS) u.a. für Tankstellen und Flugfeldbetankungsanlagen.

### 3.5.4 Prüfpflicht in den Modellgebieten

**Tabelle 3.5.4.1** gibt eine Übersicht zur Prüfpflicht in den Modellregionen. Die Fremdüberwachung von Anlagen erfolgt durch zugelassene Sachverständige. Die Prüfpflichten und Prüffristen sind im § 19i WHG grundsätzlich geregelt. Die Länder haben Ausnahmen in den Anlagenverordnungen festgelegt. Oberirdische Anlagen mit geringem Gefährdungspotenzial (Gefährdungsstufe A) sind in der Regel nicht prüfpflichtig. Bei Anlagen der Gefährdungsstufe B wird differenziert. Außerhalb von Schutzgebieten entfällt die regelmäßig wiederkehrende Prüfung für B-Anlagen.

In NRW orientiert sich die Prüfpflicht an den Volumina, wobei Heizöltanks > 5 m³ regelmäßig wiederkehrend prüfpflichtig sind. Andere Anlagen, die Flüssigkeiten oder feste Stoffe mit anhaftenden Flüssigkeiten beinhalten, sind erst ab 10 m³ Volumen, in Wasserschutzgebieten ab 1 m³ ebenfalls regelmäßig zu prüfen. Vielfach sind nicht mehr die Kreisverwaltungen für Baugenehmigungen zuständig (Maßnahmen zur Beschleunigung von Baugenehmigungen). Wegen der Unkenntnis der Anzeigepflicht von VAwS-Anlagen bei Bauherren, Architekten, Bauträgern und Baufirmen sind zahlreiche Heizölverbraucheranlagen den Wasserbehörden nicht bekannt. Folge ist, dass dort häufig keine Sachverständigenprüfungen durchgeführt wurden. Sofern die Anlagen nicht unter die Fachbetriebspflicht fallen, ist die Übereinstimmung der Anlagen mit den

Anforderungen nicht gesichert. Es besteht noch Klärungsbedarf, wie diese Anlagen zu erfassen und in die vorgeschriebene Überwachungsdateien der Wasserbehörden aufzunehmen sind.

**Tabelle 3.5.4.1**: Übersicht zur Prüfpflicht in den Modellgebieten

| **Prüfpflicht** | **Nordrhein-Westfalen** [VAwS NRW, 2004] | **Sachsen-Anhalt** [VAwS LSA, 2006] | **Sachsen** [SächsVAwS, 2000] |
|---|---|---|---|
| • Vor Inbetriebnahme<br>• nach wesentlicher Änderung<br>• bei Wiederinbetriebnahme nach Stilllegung > 1 Jahr | • unterirdische Behälter und Rohrleitungen<br>• oberirdische Anlagen > 1.000 Liter<br>ausgenommen, die Aufstellung erfolgte durch einen zugelassenen Fachbetrieb | • unterirdische Anlagen und Anlagenteile für flüssige und gasförmige Stoffe<br>• oberirdische Anlagen für flüssige und gasförmige Stoffe der Gefährdungsstufen C und D, in Schutzgebieten der Gefährdungsstufen B, C und D<br>• Anlagen, für welche Prüfungen in einer Eignungsfeststellung oder Bauartzulassung nach § 164 Abs. 1 Satz 1 oder 2 des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt oder einer dieser ersetzenden Regelung vorgeschrieben sind; sind darin kürzere Prüffristen festgelegt, gelten diese. | • unterirdische Anlagen und Anlagenteile mit flüssigen Stoffen, ausgenommen Anlagen der GS A außerhalb von Schutzgebieten<br>• oberirdische Anlagen der GS C und D (flüssige und feste Stoffe), bei Anlagen mit festen Stoffen keine Stilllegungsprüfung erforderlich<br>• oberirdische Anlagen der GS B (flüssige Stoffe), ausgenommen Heizölverbraucheranlagen mit Bescheinigung vom zugelassenen Fachbetrieb<br>• Oberirdischer Heizölanlagen der Stufe B in Überschwemmungsgebieten sind vor Inbetriebnahme und bei wesentlicher Änderung prüfpflichtig. |
| • alle 2,5 Jahre (nach § 19i Abs. 2 Nr.2) | • unterirdische Lageranlagen in Schutzgebieten | • unterirdische Lageranlagen in Schutzgebieten | • unterirdische Lageranlagen in Schutzgebieten |
| • alle 5 Jahre<br>• bei Stilllegung | • unterirdische Behälter und Rohrleitungen<br>• oberirdische LAU-Anlagen > 10 m³ (flüssig und fest mit Flüssigkeiten behaftet<br>• oberirdische LAU-Anlagen im Schutzgebiet > 1 m³ (flüssig) bzw. bei Heizöl EL und Diesel > 5m³<br>• oberirdische HBV-Anlagen der GS* C und D > 1 m³ (flüssig)<br>• oberirdische HBV-Anlagen im Schutzgebiet der GS B, C und D > 1 m³ (flüssig) | • unterirdische Anlagen und Anlagenteile<br>• oberirdische Anlagen der GS C und D<br>• oberirdische Anlagen im Schutzgebiet der GS B, C und D<br>• bei Stilllegung auch Anlagen der GS B | • unterirdische Anlagen und Anlagenteile<br>• oberirdische Anlagen der GS C und D<br>• oberirdische Anlagen im Schutzgebiet der GS B, C und D<br>• oberirdische Anlagen im Überschwemmungsgebiet der GS B, C und D<br>• bei Stilllegung auch Anlagen der GS B |
| • auf Anordnung der Behörde | nach § 22 Abs. 2 VAwS NRW | nach § 19 Abs. 3 VAwS LSA | nach § 21 Abs. 3 SächsVAwS |

- GS – Gefährdungsstufe nach § 6 VawS

## 3.5.5 Besondere Anforderungen der VAwS an Anlagen in Überschwemmungsgebieten

Die Überschwemmungsgebiete sind nach den im betreffenden Landeswassergesetz vorgegebenen Kriterien festgelegt (vgl. Tabelle 3.2.4.1). In allen Anlagenverordnungen

der Länder werden erhöhte Anforderungen an Anlagen in Schutzgebieten (z.B. Wasser- und Heilquellenschutzgebiete) gestellt. Mittlerweile werden mit den Novellierungen der einzelnen Anlagenverordnungen der Länder auch Überschwemmungsgebiete expressis verbis genannt und besondere Anforderungen an Anlagen in diesen Gebieten gestellt. Beispiele hierfür sind die Anlagenverordnungen von Sachsen-Anhalt und Hessen [VAwS – Hessen, 2006]). In NRW werden keine spezifischen Anforderungen an Anlagen in Überschwemmungsgebieten gestellt. Die erforderlichen Schutzmaßnahmen sind indirekt über die Anforderungen nach § 3 VAwS NRW abgedeckt.

Sachsen-Anhalt und Sachsen gehen näher auf Anlagen in Überschwemmungsgebieten ein. Im § 21 Abs. 1 Nr. 2 SächsVAwS wird die Prüfung durch Sachverständige von oberirdischen Anlagen der Gefahrenstufen B, C und D in Überschwemmungsgebieten vorgesehen. In Überschwemmungsgebieten ist damit gegenüber den übrigen Anlagen eine zusätzliche Fremdüberwachung von Anlagen der Gefahrenstufe B wiederkehrend und bei Stilllegung vorgegeben.

**Tabelle 3.5.5.1** gibt eine Übersicht über die Anforderungen an VAwS-Anlagen in Überschwemmungsgebieten im Vergleich zu den Empfehlungen der IKSE, die nicht nur die bautechnischen Anforderungen, sondern auch Maßnahmen im Hochwasserfall, wie z.B. das Entleeren von offenen Behältern umfassen. Damit gehen die Empfehlungen der IKSE teilweise wesentlich weiter bzw. sind konkreter als die Anlagenverordnungen der Länder.

Darüber hinaus ist zu erkennen, dass bestimmte Anforderungen in den einzelnen Anlagenverordnungen der Länder nicht konkretisiert sind. Bestimmte Anforderungen an VAwS-Anlagen in Überschwemmungsgebieten sind für das Land Sachsen-Anhalt der Verwaltungsvorschrift zum Vollzug der VAwS-Anlagenverordnung entnommen. Diese datiert aus dem Jahre 1997 und wurde an die Novelle der VAwS vom März 2006 noch nicht angepasst. Ergänzend zur VAwS hat das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) im Informationsblatt Nr. 6 „Anforderungen an Anlagen in Überschwemmungsgebieten“ vom Juni 2001 die Empfehlungen der IKSE veröffentlicht [LfUG, 2001]. Ohne eigenen Rechtscharakter dient das Blatt dennoch als Entscheidungshilfe für Behörden, Anlagenbetreiber und Sachverständige. Zudem enthält das Hintergrundpapier zur SächsVAwS Hinweise zu Fass- und Gebindelager in Überschwemmungsgebieten sowie in Anlage Nr. 17 eine Liste des DIBt über Oberirdische Heizölbehälter in Überschwemmungsgebieten. Darüber hinaus wird klargestellt, dass die Standsicherheit von Auffangräumen gesondert zu prüfen ist (statischer Nachweis).

**Tabelle 3.5.5.1**: Übersicht zu den Anforderungen der verschiedenen VAwS-Anlagenverordnungen in Überschwemmungsgebieten

| Empfehlungen der IKSE | Zusammenstellung der Pflichten gem. VAwS der Länder | Nordrhein-Westfalen | Sachsen-Anhalt | Sachsen[4] |
|---|---|---|---|---|
| | Sicherung gegen Stoffaustritt bei Hochwasser | nicht konkretisiert, nur Grundanforderung durch § 3 Abs. 2 Nr.1 | § 9 Abs. 4 | § 10 Abs. 5 Nr.1 |
| Sicherung gegen Aufschwimmen und Lageveränderung<br>spezifiziert für<br>- unterirdische Lagerbehälter<br>- oberirdische Lagerbehälter<br>- oberirdische Lagerbehälter in Gebäuden<br>- oberirdische und unterirdische Rohleitungen | Sicherung gegen Aufschwimmen und Lageveränderung | nicht konkretisiert, nur Grundanforderung durch § 3 Abs. 2 Nr.1 | § 9 Abs. 4 | § 10 Abs. 5 Nr.2 |
| 1,3-fache Sicherheit gegen Aufschwimmen | 1,3-fache Sicherheit gegen Aufschwimmen | nicht konkretisiert | VVAwS Nr. 10.2 | nicht konkretisiert |
| Sicherheit gegen Wassereindringen in die Anlage | Sicherheit gegen Wassereindringen in die Anlage | nicht konkretisiert, nur Grundanforderung durch § 3 Abs. 2 Nr.1 | nicht konkretisiert, nur Grundanforderung durch § 3 Abs. 1 Nr.1 | § 10 Abs. 5 Nr.3 |
| Sicherheit gegen mechanische Beschädigung bei | Sicherheit gegen mechanische Beschädigung bei | nicht konkretisiert, nur Grundanforderung durch § 3 Abs. 2 Nr.1 | allgemein über § 9 Abs. 4 | s.u. |
| - Wasserdruck | - Wasserdruck | s. o. | VVAwS Nr. 10.2, Herstellerbescheinigung gefordert) | § 10 Abs. 5 Nr.3 |
| - Treibgut | - Treibgut | s. o. | nur für Entlüftungsleitungen | § 10 Abs. 5 Nr.3 |
| - Eisstau | - Eisstau | s. o. | s. o. | § 10 Abs. 5 Nr.3 |
| Sicherung der Entlüftungsleitungen bei Hochwasser | Sicherung der Entlüftungsleitungen bei Hochwasser | nicht konkretisiert | VVAwS Nr. 10.2 | nicht konkretisiert |
| Sicherung der Befüllanschlüsse bei Hochwasser | Sicherung der Befüllanschlüsse bei Hochwasser | nicht konkretisiert | VVAwS Nr. 10.2 | nicht konkretisiert |
| Maßnahmen im Hochwasserfall:<br>- Abschaltung von Anlagen<br>- Abdichtung von Gebäuden<br>- Entleerung von offenen Tanks und Leitungen für wassergefährdende Stoffe, brennbare Flüssigkeiten und Gase | Maßnahmen bei Schadensfällen und Betriebsstörungen<br>- Außerbetriebnahme der Anlage<br>- Entleerung der Anlage | § 3 Abs. 9 | § 8 | nicht konkretisiert |

[4] siehe auch Sächsische Dung- und Silagesickersaftanlagenverordnung - SächsDuSVO) vom 26. Februar 1999 (SächsGVBl. S. 131)

### 3.5.6 Bestandschutz

In der Anlagenverordnung von **Nordrhein-Westfalen** ist in § 17 der Bestandschutz von bestehenden Anlagen wie folgt geregelt [VAwS NRW, 2004]:

> *(1) Werden durch diese Verordnung Anforderungen neu begründet oder verschärft, so gelten sie für bestehende Anlagen erst auf Grund einer Anordnung der zuständigen Behörde. Jedoch kann nicht verlangt werden, dass rechtmäßig bestehende oder begonnene Anlagen stillgelegt oder beseitigt werden.*

Dies bedeutet, dass mit der Novellierung der VAwS neue Anforderungen gestellt werden können, diese jedoch erst aufgrund einer behördlichen Anordnung für bestehende Anlagen gelten (Ausnahme: neu begründete Prüfpflichten; gilt insbesondere für Lagertanks mit 10 – 40 m³). Die Stillegung einer rechtmäßig bestehenden Anlage kann jedoch nicht verlangt werden. Die Durchsetzung neuer Anforderungen an bestehende Anlagen wird damit für die Behörden erschwert, wenn nicht sogar unmöglich gemacht. Ausnahme sind Anlagen mit gefährlichen Mängeln.

Die Anlagenverordnung des **Landes Sachsen-Anhalt** [VAwS LSA, 2006] legt in § 24 Abs. 1 fest, dass bestehende Anlagen anzuzeigen und innerhalb von zwölf Monaten nach In-Kraft-Treten der Verordnung durch einen Sachverständigen zu überprüfen sind, soweit diese Anforderung nicht auch schon nach der bisherigen Rechtslage bestand. In § 24 Abs. 2 wird darüber hinaus analog der Regelung in NRW festgelegt:

> *(2) Werden durch diese Verordnung andere als die in Absatz 1 genannten Anforderungen neu begründet oder verschärft, so gelten sie für bestehende Anlagen erst aufgrund einer Anordnung der zuständigen Wasserbehörde. Aufgrund dieser Verordnung kann nicht verlangt werden, dass rechtmäßig bestehende oder begonnene Anlagen stillgelegt oder beseitigt werden.*

Die VAwS des Freistaates **Sachsen** bestimmt in § 25 für bestehende Anlagen in Überschwemmungsgebieten, dass neue Anforderungen durch eine behördliche Anordnung durchgesetzt werden können [SächsVAwS, 2000]:

> *(2) Werden durch diese Verordnung andere als in Absatz 1 genannte Anforderungen neu begründet, so kann die zuständige Behörde deren Geltung für bestehende Anlagen anordnen.*

Damit haben die Behörden die Möglichkeit auf der Grundlage einer Anordnung neue Anforderungen zu stellen, sofern diese ausreichend begründet werden.

Die Anordnungen zur Umsetzung neuer Anforderungen können in allen Fällen jedoch nicht pauschal formuliert werden, sondern setzen jeweils Einzelfallprüfungen voraus. Dieser Aufwand kann die praktische Umsetzung neuer Anforderungen in den VAwS erheblich hemmen, da die erforderlichen Behördenkapazitäten eingeschränkt sein können.

Zahlreiche Anlagen, die der VAwS unterliegen, sind nach Bundes-Immissionsschutzgesetz [BImSchG, 2005] genehmigungspflichtige oder nicht genehmigungspflichtige Anlagen oder Teile derselben. Dies betrifft u.a. VAwS-Anlagen, die als Teil von Betriebsbereichen der Störfall-Verordnung [StörfallV, 2000] unterliegen. § 17 bzw. § 24 BImSchG lassen für diese Anlagen nachträgliche Anordnungen zu, sofern die Verhältnismäßigkeit gewahrt bleibt (§ 17 Abs. 2 BImSchG). In der Praxis wird durch den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit die Durchsetzung nachträglicher Anforderungen erschwert. So kann der Anlagenbetreiber unter Bezug hierauf gegen die nachträgliche Anordnung Widerspruch einlegen und Anfechtungsklage erheben [Jarass, 1999].

Anders als bei den Anlagenverordnungen der Länder sind die Behörden nach § 20 Abs. 1 BImSchG jedoch zur Durchsetzung ihrer Auflagen ermächtigt, den Betrieb der Anlage ganz oder teilweise bis zur Erfüllung der Auflage, Anordnung oder Pflichten aus der Rechtverordnung nach § 7 zu untersagen.

Der Vergleich der rechtlichen Grundlagen bezüglich nachträglicher Anforderungen an bestehende Anlagen zeigt, dass für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen die Behörden auf der Grundlage der Anlagenverordnungen praktisch kaum Möglichkeiten besitzen, nachträgliche Anordnungen wirksam durchzusetzen. Konkret gilt dies z.B. für Anlagen zum Lagern von Heizöl.

Für Anlagen können nach BImSchG durchaus nachträgliche Anforderungen erlassen und ggf. durch Androhung der Stillegung durchgesetzt werden.

### 3.5.7 Alarmpläne aufgrund der VAwS

Auf die Pflicht zur Erstellung von Alarmplänen nach der VAwS wird in Kapitel 10.2.5 dieses Berichtes näher eingegangen, weil dort eine zusammenfassende Darstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen gemäß 12. BImSchV (Störfall-Verordnung) und VAwS gegeben wird.

## 3.6 Bauplanungsrechtliche Instrumente des vorbeugenden Hochwasserschutzes

Die bauplanungsrechtlichen Instrumentarien des vorbeugenden Hochwasserschutzes konzentrieren sich im Wesentlichen auf

- die Flächennutzungsplanung sowie
- die Bebauungsplanung.

Dem Hochwasserschutz wird mit der Verabschiedung des Hochwasserschutzgesetzes am 3. Mai 2005 in den Grundsätzen der Bauleitplanung des § 1 Abs. 6 BauGB unter Nr. 12 eine größere Bedeutung eingeräumt. Für die Flächennutzungsplanung wurde ein neuer § 4a eingeführt, der festlegt, dass Überschwemmungsgebiete nachrichtlich übernommen und überschwemmungsgefährdete Gebiete im Sinne des § 31c WHG vermerkt werden müssen. Dies gilt nach § 9 Abs. 6a auch für den Bebauungsplan.

Das BauGB [BauGB, 2004] macht der Flächennutzungsplanung folgende Vorgaben:

- Darstellung von Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes oder der Regelung des Abflusses freizuhalten sind. Hierzu gehören neben den eigentlichen Hochwasserschutzanlagen auch Hochwasserabflussgebiete, die von einer Bebauung auszuschließen sind (§ 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB).
- Kennzeichnungspflicht für „Flächen, bei denen besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind“ (§ 5 Abs. 3 Nr. 1 BauGB).
- Nachrichtliche Übernahme von etwaigen Überschwemmungsgebieten nach Wasserrecht (§ 5 Abs. 4 BauGB).

Aus diesen Regelungen ergibt sich, dass Städte und Gemeinden bereits bei der Erstellung des Flächennutzungsplans die Belange des vorbeugenden Hochwasserschutzes berücksichtigen müssen. Bei neuen Erkenntnissen aus Hochwasserereignissen müssen die Flächennutzungspläne angepasst werden.

Die endgültige Entscheidung über das Maß des Hochwasserschutzes findet in der Aufstellung der Bebauungspläne statt. Während in den meisten Bundesländern ein absolutes Bauverbot in Überschwemmungsgebieten festgelegt ist, unterliegt die Entscheidung in NRW derzeit noch einem Genehmigungsvorbehalt. Die Frage der Rechtmäßigkeit von Bauvorhaben in Überschwemmungsgebieten ist somit auf die Ebene einer Abwägungsentscheidung verschoben. Dies bedeutet, dass derzeit eine Ausweisung als Bauland nach entsprechender Abwägung prinzipiell möglich ist. Mit der vorgesehenen Novellierung des Landeswassergesetzes soll auch in NRW ein Bauverbot mit Ausnahme von Hafenanlagen und Werften ausgesprochen werden. In Sachsen und Sachsen-Anhalt gilt dagegen ein Bauverbot in Überschwemmungsgebieten.

Außerhalb von Überschwemmungsgebieten haben die Städte und Gemeinden nach § 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB das Recht, diejenigen Flächen festzulegen, die von einer Bebauung freizuhalten sind. Darüber hinaus kann das Maß der Bodenversiegelung auf Baugrundstücken selbst durch die Festsetzung nicht überbaubarer Flächen in Verbindung mit der Baunutzungsverordnung [BauNVO, 1993] erreicht werden.

Im Landeswassergesetz Sachsens [SächsWG, 2004] wird in § 100 Abs. 7 ausdrücklich auf die Bauleitplanung für Überschwemmungsgebiete und Gebiete, die bei Versagen eines Deiches überschwemmt werden können, hingewiesen (vgl. Tabelle 3.2.3.1). Damit werden diesbezüglich die Regelungen des Landeswassergesetzes zum Hochwasserschutz mit den Bauleitplänen verknüpft.

## 3.7 Instrumente der Störfall-Verordnung

### 3.7.1 Anwendungsbereich der Störfall-Verordnung

Betreiber von Betriebsbereichen, in denen gefährliche Stoffe in einer bestimmten Menge vorhanden sind und die daher der Störfall-Verordnung unterliegen, haben entsprechend § 5 BImSchG und der Störfall-Verordnung die Sicherheit der Anlagen

bzw. Betriebsbereiche zu gewährleisten [StörfallV, 2005]. Die Störfall-Verordnung ist auf Betriebsbereiche dann anzuwenden,

- wenn die im Anhang I zur Verordnung genannten gefährlichen Stoffe oder Stoffkategorien vorhanden sind und die dort aufgeführten Mengenschwellen der Spalte 4 erreicht bzw. überschritten werden,
- wenn trotz Unterschreitens der Mengenschwellen der Spalte 4 die Anwendung der sogenannten Quotientenregel einen Wert ≥ 1 ergibt.

Die Störfall-Verordnung enthält Vorschriften zur Erfüllung sogenannter Grundpflichten ab der Mengenschwellen in Spalte 4 des Anhangs I sowie sogenannte erweiterte Pflichten ab der Mengenschwellen nach Spalte 5 des Anhangs I. U.a. sind in der Störfall-Verordnung Meldeverfahren im Falle eines Störfalls geregelt. Die Umsetzung der Anforderungen wird dokumentiert und gegenüber den zuständigen Behörden nachgewiesen. Diese Dokumentation erfolgt

- bei Grund- und erweiterten Pflichten in
- einem Konzept zur Verhinderung von Störfällen
- einem Sicherheitsmanagementsystem
- und bei erweiterten Pflichten zusätzlich in
- einem Sicherheitsbericht
- einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan
- Informationen der Öffentlichkeit über Sicherheitsmaßnahmen.

#### 3.7.1.1 Pflichten und Anforderungen gemäß der Störfall-Verordnung

Die allgemeinen Betreiberpflichten und Anforderungen zur Verhinderung von Störfällen sind in den Paragraphen 3 und 4 der Störfall-Verordnung geregelt:

***§ 3 Allgemeine Betreiberpflichten***

*(1) Der Betreiber hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern; Verpflichtungen nach anderen als immissionsschutzrechtlichen Vorschriften bleiben unberührt.*

*(2) Bei der Erfüllung der Pflicht nach Absatz 1 sind*

*1. betriebliche Gefahrenquellen,*

***2. umgebungsbedingte Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser,***

*3. Eingriffe Unbefugter*

*zu berücksichtigen, es sei denn, dass diese Gefahrenquellen oder Eingriffe als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können.*

*(3) Über Absatz 1 hinaus sind vorbeugend Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten.*

*(4) Die Beschaffenheit und der Betrieb der Anlagen des Betriebsbereichs müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen.*

***§ 4 Anforderungen zur Verhinderung von Störfällen***

*Der Betreiber hat zur Erfüllung der sich aus § 3 Abs. 1 ergebenden Pflichten insbesondere*

*1. Maßnahmen zu treffen, damit Brände und Explosionen*
   *a) innerhalb des Betriebsbereichs vermieden werden,*
   *b) nicht in einer der Sicherheit beeinträchtigenden Weise von einer Anlage auf andere Anlagen des Betriebsbereichs einwirken können und*
   *c) nicht in einer die Sicherheit des Betriebsbereichs beeinträchtigenden Weise von außen auf ihn einwirken können,*
*2. den Betriebsbereich mit ausreichenden Warn-, Alarm- und Sicherheitseinrichtungen auszurüsten,*
*3. die Anlagen des Betriebsbereichs mit zuverlässigen Messeinrichtungen und Steuer- oder Regeleinrichtungen auszustatten, die, soweit dies sicherheitstechnisch geboten ist, jeweils mehrfach vorhanden, verschiedenartig und voneinander unabhängig sind,*
4. die sicherheitsrelevanten Teile des Betriebsbereichs vor Eingriffen Unbefugter zu schützen.

### 3.7.1.2 Grundpflichten

Zu den Grundpflichten gehören u.a. alle Maßnahmen nach dem Stand der Sicherheitstechnik, die einen Störfall verhindern und im Ereignisfall dessen Auswirkungen begrenzen. Die Grundpflichten umfassen

- die materielle Störfallvorsorge (Auslegung und Betrieb der Anlage nach dem Stand der Sicherheitstechnik, §§ 3, 4 und 5 Abs. 1 Nr. 1 und 2),
- die organisatorische Störfallvorsorge (Wartung, Instandhaltung, Schulung, Lagerlisten etc., § 4 Nr. 4, § 5 Abs. 2, § 6 Abs. 1 Nr. 1 bis 4, § 6 Abs. 2),
- die Anzeige von Betriebsbereichen, Stoffen und Stoffmengen (§ 7),
- ein Konzept zur Verhinderung von Störfällen (§ 8 in Verbindung mit Anh. III),
- Sicherheitsmanagementsystem (§ 8, Abs. 3) sowie
- die Meldepflichten (Meldung von Störfällen, § 19 in Verbindung mit Anh. VI).

Hervorzuheben im Rahmen der Darlegungen zu diesem Forschungsbericht sind insbesondere bei den Anforderungen zu den Betreiberpflichten deren Erfüllung durch Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser nach § 3 Abs. 2, Nr. 2.

#### 3.7.1.3 Erweiterte Pflichten

Über die Erfüllung der Grundpflichten hinaus beinhalten die erweiterten Pflichten vorrangig die Erstellung eines Sicherheitsberichtes und die Erarbeitung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sowie die Information über Sicherheitsmaßnahmen an Dritte.

Zu den erweiterten Pflichten gehören im Einzelnen:

- Sicherheitsberichte (§ 9 in Verbindung mit Anhang II),
- Sicherheitsmanagementsystem (§ 9 in Verbindung mit Anhang III) [bereits Gegenstand der Grundpflichten],
- Alarm- und Gefahrenabwehrpläne (§ 10 in Verbindung mit Anhang IV),
- Information der Öffentlichkeit über Sicherheitsmaßnahmen (§ 11 in Verbindung mit Anhang V),
- Einrichtung einer geschützten Verbindung (§ 12 Abs. 1 Nr. 1),
- Benennung einer Person zur Begrenzung von Störfallauswirkungen (§ 12 Abs.1 Nr. 2) sowie
- Dokumentation der Errichtung/des Betriebes der Überwachung, Wartung und Instandhaltung sowie der Funktionsprüfungen (§ 12 Abs. 2).

### 3.7.2 Aussagekraft der Störfall-Verordnung in Bezug auf die Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen

In der Störfall-Verordnung ist unter § 3, Abs. 2, Nr. 2 die Berücksichtigung von umgebungsbedingten Gefahrenquellen, wie Hochwasser oder Erdbeben, expressis verbis festgelegt. Des weiteren sind nach § 4 Nr. 1 c) Maßnahmen zu treffen, damit Brände und Explosionen nicht in einer die Sicherheit des Betriebsbereiches beeinträchtigenden Art und Weise von außen auf ihn einwirken können.

Auch aus dem Hinweis in § 8 Abs.1 auf die „Angemessenheit“ des Konzepts zur Verhinderung von Störfällen kann abgeleitet werden, dass Gefahrenquellen wie Hochwasser, Erdbeben, Sturm oder Bergsenkungen im Konzept zu berücksichtigen sind. Dies kommt auch im Anhang II hinsichtlich der geforderten Angaben in einem Sicherheitsbericht für Betriebsbereiche, die unter die erweiterten Pflichten fallen, unter Abs. III, Punkt 1 mit der Anforderung der Beschreibung der Gefahrenquellen, die zu Störfällen führen könnten, nicht direkt aber doch mittelbar zum Ausdruck.

Schließlich sind in einem Sicherheitsbericht im Rahmen der Beschreibung des Umfeldes eines Betriebsbereiches gemäß Anhang II, Abschn. II, Nr. 1 der StörfallV die meteorologischen, geologischen und hydrographischen Daten zu nennen.

Des weiteren ist in einer allgemeinen Festlegung zur systematischen Ermittlung der Gefahren von Störfällen in Anhang III, Abs. 3 b) eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit gefordert, welche durchaus auf die Auslösung von Störfällen durch Umgebungsbeeinflussung bei Hochwasser, Erdbeben oder Sturm anwendbar erscheint. Ebenfalls kann eine entsprechende Berücksichtigung der Umgebungsgefahren durch Hochwasser etc. aus der Formulierung des Anhangs IV zur Information in Alarm- und Gefahrenabwehrplänen unter Nr. 3 abgeleitet werden, da Informationen und damit Ursachen zu vorhersehbaren Umständen oder Vorfällen, die für das Auslösen eines Störfalls ausschlaggebend sein können, bei der Berücksichtigung der Maßnahmen zur Kontrolle solcher Vorfälle sowie zur Begrenzung der Auswirkungen zu berücksichtigen sind. Allerdings muss festgestellt werden, dass den möglichen Einflüssen und deren Auswirkungen von umgebungsbedingten Einwirkungen durch Hochwasser, Erbeben, Sturm, etc., insbesondere in Bezug auf die Auslösung von Störfällen mit der Freisetzung von Schadstoffen, in der Störfall-Verordnung nicht vertieft Rechnung getragen wird.

Einige ergänzende Hinweise enthält die im März 2004 vom BMU herausgegebene Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung [BMU, 2004]. Nach dieser Vollzugshilfe zur

Umsetzung der Störfall-Verordnung sollten bei der Erstellung eines Sicherheitsberichtes nach § 9 der StörfallV umgebungsbedingte, auch naturbedingte Gefahrenquellen insbesondere Hochwasser oder z.B. Erdbeben berücksichtigt werden.

Mit der Novellierung der SEVESO-Richtlinie [SEVESO II-Richtlinie, 2003] erfolgte keine Präzisierung der allgemeinen Betreiberpflicht Maßnahmen zur Verhütung schwerer Unfälle zu ergreifen hinsichtlich einer Berücksichtigung von Umgebungsgefahren, wie Hochwasser, Erdbeben, Sturm etc. hierbei.

### 3.7.3 Erläuterungen zur Umweltschutzgesetzgebung auch in Bezug auf genehmigungsbedürftige Anlagen nach dem BImSchG unter dem Aspekt des Vorsorgeprinzipes

Das Vorsorgeprinzip ist das zentrale Element des modernen Umweltschutzes. Es gilt auch dem Schutz vor Umgebungsbeeinflussungen, die einen umweltgefährdenden Störfall auslösen könnten. Sinn des Vorsorgeprinzips ist es, dem Entstehen von Umweltbelastungen vorzubeugen. Es ist in zahlreichen Umweltgesetzen, wie z.B. dem Wasserhaushaltsgesetz, dem Atomgesetz etc. enthalten. Besonders ausgeprägt ist das Vorsorgeprinzip im Immissionsschutzrecht. Dort ist es bereits in der gesetzlichen Zweckbestimmung des § 1 BImSchG enthalten. Das Vorsorgeprinzip umfasst die Gefahrenvermeidung, d.h. die „Risikovorsorge“, und die Vermeidung von Risiken, die noch keine „Gefahrenqualität“ erreicht haben. Im BImSchG heißt es:

***§ 1 Zweck des Gesetzes***

*(1) Zweck des Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlichen Umwelteinwirkungen vorzubeugen.*

*(2) Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, dient dieses Gesetz auch*

- *der integrierten Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie*
- *dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden*

Konkretisiert wird der immissionsschutzrechtliche Vorsorgegrundsatz insbesondere in § 5 Abs. 1 Nr. 2 des BImSchG.

> ***§ 5 Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen***
> *(1) Genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt*
> *1. schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können;*
> *2. Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen;*

Genehmigungsbedürftige Anlagen und in gleichem Maße ableitbar Betriebsbereiche, die in den Geltungsbereich der Störfall-Verordnung fallen, sind so zu errichten und zu betreiben, dass Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren getroffen wird. Dies wird insbesondere auch vorbeugend durch entsprechende Maßnahmen zur Störfallverhinderung und Emissionsbegrenzung nach dem Stand der Technik und Sicherheitstechnik erreicht. Diese Vorsorge kann auch auf den Schutz vor umgebungsbedingten Gefahrenquellen wie Hochwasser, Erdbeben, Sturm etc. bezogen werden.

Diese Betreiberpflichten gelten gleichermaßen für Betreiber von Betriebsbereichen gemäß der Störfall-Verordnung und sind in dieser Verordnung im Einzelnen auch in bestimmter Weise festgelegt.

### 3.7.4 Sicherheitstechnischen Auslegungskriterien

Sicherheitstechnische Überlegungen sind in allen Betriebsphasen eines Betriebsbereiches anzustellen und müssen schon bei der Entwicklung eines Verfahrens und der Planung einen hohen Stellenwert einnehmen. Dies bedeutet, dass die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) bei VAwS-Anlagen und insbesondere der Stand der Technik (St.d.T. im BImSchG) sowie der Stand der Sicherheitstechnik

(gemäß StörfallV) bei Betriebsbereichen verbindlich anzuwenden und einzuhalten sind.

Die allgemein anerkannten Regeln der Technik sind schriftlich fixierte technische Festlegungen (z.B. in Richtlinien oder Regelwerken) für Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, die zur Erreichung des gesetzlich vorgegebenen Zieles einer sicherheitstechnisch einwandfreien Anlage geeignet sind und sich in der Praxis allgemein bewährt haben.

Stand der Sicherheitstechnik ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung ihrer Auswirkungen gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind.

Stand der Sicherheitstechnik kann auch eine nicht in Regelwerken festgelegte Technologie sein. Insbesondere kann diesbezüglich auf anerkannte Publizierungen (die auf sicheren Erkenntnissen beruhen) in wissenschaftlichen Schriftenreihen, wie z.B. der DECHEMA, der DGMK und des VDI, verwiesen werden. Des weiteren finden sich diese im speziellen Know How von Anlagenplanern und Betreibern.

## 3.8 Regelwerke und Verordnungen zum Schutz von Anlagen und Betriebsbereichen gegen umgebungsbedingte Gefahrenquellen

### 3.8.1 Allgemeine Übersicht, Anwendungskriterien

Betriebsbereiche, die unter die Störfall-Verordnung fallen, sind nach dem Stand der Sicherheitstechnik, Anlagen nach § 19g WHG insbesondere zum Umgang und zur Lagerung von Heizöl und Flüssiggas sind mindestens nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (für § 19 WHG) zu planen und zu betreiben. Die allgemein anerkannten Regeln der Technik umfassen im weitesten Sinne alle technischen Regelwerke, u.a. auch jene zur Auslegung und zum Betrieb von technischen Anlagen und Bauwerken mit festgelegten Anforderungen an Qualitätsstandards. Für Lager von Flüssiggas gelten Anforderungen nach dem Stand der Sicherheitstechnik, sofern diese aufgrund ihrer Lagerkapazität in den Geltungsbereich der StörfallV fal-

len, und bei geringerer Lagerkapazität nach dem Stand der Technik gem. GPSG und BetrSichV.

In Bezug auf den Schutz vor umgebungsbedingten Gefahrenquellen sind jene Regelwerke von Bedeutung, mit deren Umsetzung Havarien bzw. Störfälle mit einer daraus resultierenden Freisetzung von gefährlichen Schadstoffen vermieden werden. Im Wesentlichen sind dies auch Richtlinien zum sicheren Einschluss von gefährlichen Medien.

Die Darlegung der Regelwerke hinsichtlich der Einwirkungen von Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen ist den Kapiteln 7 bis 8, in denen diese Themen abgehandelt werden, zugeordnet. Bezogen auf die zuvor genannten Kriterien ergibt eine Auswahl repräsentativer bedeutender Regelwerke in Verbindung mit übergeordneten Verordnungen:

- VAwS – Verordnung über Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen
- Betriebssicherheitsverordnung
- Druckgeräteverordnung
- AD 2000-Regelwerk
- DIN-Normen
- DIN-EN-ISO-Normen
- DIN-EN-Normen
- DIN-(VDE)-Normen
- DVGW-Regelwerk
- TRAS – Technische Regeln für Anlagensicherheit
- TRB – Technische Regeln Druckbehälter
- TRbF – Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten
- TRBS – Technische Regeln für Betriebssicherheit
- VDI-Richtlinien
- VdS-Richtlinien
- Namur-Empfehlungen
- BG-Vorschriften, -Regeln, -Informationen, -Grundsätze

Technische Regeln für überwachungsbedürftige Anlagen können nach § 14 Abs. 3 GPSG[5] vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit veröffentlicht werden.

[5] Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – GPSG); Artikel 1 des Gesetzes vom 06.01.2004

### 3.8.2 Anforderungen gegen Gefahren durch und verbunden mit Hochwasser in technischen Regelwerken

Es gibt keine speziellen Regelwerke für Betriebsbereiche und Anlagen nach der StörfallV, die speziell auf eine Absicherung gegen Gefahren durch Hochwasser ausgerichtet sind. Um einen adäquaten Schutz zu erhalten, sind deshalb i.d.R. diejenigen Regelwerke heranzuziehen und anzuwenden, die aufgrund ihrer Anforderungen u.a. den sicheren Einschluss von gefährlichen Medien in Anlagen, Behältern aber auch deren sichere Aufstellung fordern. Damit kann auch ein Schutz vor Hochwasser gewährleistet werden.

Im Kapiteln 3.8.3 werden wesentliche Regelwerke zum sicheren Einschluss von gefährlichen Stoffen in Gefäßen bzw. Behältern, Tanks, Rohrleitungen mit relevanten Informationen dargestellt. Diese resultieren u.a. aus den Vorschriften für technische Arbeitsmittel und überwachungsbedürftige Anlagen nach Artikel 1 des Gesetzes zur Neuordnung der Sicherheit von technischen Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten [GPSG, 2004]. Dieses Gesetz regelt im Einzelnen:

- technische Arbeitsmittel:

  Anforderungen für das Inverkehrbringen (z.B. Auslegung/sicherheitstechnische Anforderungen), für die Inbetriebnahme, Prüfungen, Produktionsüberwachungen oder Bescheinigungen.

- überwachungsbedürftige Anlagen:

  Anzeige-/Erlaubnispflicht für Errichtung und Betrieb; Errichtung, Herstellung, Werkstoffe und Betrieb, etc. der Anlagen müssen dem Stand der Technik entsprechen.

- Technische Ausschüsse:

  Die Regelwerke werden in Technischen Ausschüssen weiterentwickelt, deren Vorschläge vom Bundesministerium für Wirtschaft und Betrieb veröffentlicht werden.

Nach den Vorgaben des GPSG wurden folgende Verordnungen verabschiedet:

- Vierzehnte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung) 14. GPSGV, vorm. 14. GSGV geändert durch Art. 21 des Gesetzes vom 06.01.2004
- Elfte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung) 11. GPSGV, vorm. 11. GSGV geändert durch Art. 18 des Gesetzes vom 06.01.2004
- Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV, geändert durch Art. 22 des Gesetzes vom 06.01.2004

Diese Verordnungen wurden auf Basis des vormaligen Gerätesicherheitsgesetzes (GSG) vom Mai 2001 erlassen und gelten aufgrund der Bestimmungen des Gesetzes vom 06.01.2004 weiter als Rechtsverordnungen nach dem GPSG. Hier relevante technische Regeln für überwachungsbedürftige Anlagen nach dem GPSG wurden noch nicht veröffentlicht. Es gelten daher hinsichtlich der Betriebsanforderungen noch die vorhandenen technischen Regeln nach § 11 des vormaligen GSG – wie z.B. TRB, TRbF, TRAC – entsprechend den Übergangsvorschriften der BetrSichV.

### 3.8.3 Zusammenstellung und Auswertung für den Hochwasserschutz relevanter Regelwerken und Verordnungen

Im Folgenden ist eine Auswertung von Regelwerken und Verordnungen, die für die Planung und den Betrieb von Anlagen nach § 19 g WHG und Betriebsbereichen sowie deren Komponenten zu berücksichtigen sind, in Bezug auf direkte Anforderungen zum Hochwasserschutz vorgenommen.

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| 1) Betriebssicherheits-verordnung-BetrSichV | §§ 4 und 7 | --- | Läger und Abfüll-/Verladeanlagen, Füllanlagen, Prozessanlagen und Nebenanlagen | Behälter/Tanks, Rohrleitungen, Pumpen und Verdichter | Schutzeinrichtungen | NEIN (aber § 4 Abs.1 u. 2, Maßnahmen entspr. Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung nach § 3) |
| 2) TRB 600 Aufstellung der Druckbehälter | Abschn. 3. | Abschn. 3.6 | Läger, Prozessanlagen | Behälter | --- | **JA:** Auftriebssicherheit |
| 3) TRB 610 Aufstellung von Druckbehältern zum Lagern von Gasen | Abschn. 3.-5. | --- | Läger | Behälter | Schutzeinrichtungen | NEIN |
| 4) TRB 700 Betrieb von Druckbehältern | Abschn. 2.-6. | --- | Läger, Prozessanlagen | Behälter | --- | NEIN (aber Abschn. 6.1, Gegenmaßnahmen bei unmittelbarer Betriebsgefährdung durch Einwirkung von außen) |
| 6) TRB 801 Anlage zur Nr. 34 Ammoniaklagerbehälteranlagen | Abschn. 7./8. | --- | Läger | Behälter und App. | --- | NEIN |
| 7) TRB 801, Nr. 37 Druckbehälter in Wärmeübertragungsanlagen | Abschn. 6. | --- | Prozessanlagen | Behälter und App. | --- | NEIN |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| 8) TRB 851 Füllanlagen zum Abfüllen von Druckgasen aus Druckgasbehältern in Druckbehälter / Errichten | Abschn. 3.2, 4. und 5. | --- | Abfüll-/Verladeanlagen | Rohrleitungen, Pumpen, Verdichter | Schutzeinrich-tungen | NEIN |
| 9) TRB 852 Füllanlagen zum Abfüllen von Druckgasen / Betreiben | Abschn. 3.-5. | --- | siehe RW 8) | siehe RW 8) | siehe RW 8) | NEIN (aber Abschn. 3.2.2.2, Maßnahmen im Gefahrenfall wie Abtrennen der bewegl. Anschluss-leitungen) |
| 10) TRR 100 Bauvorschriften Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen | Abschn. 7.4 | --- | Rohrleitungen | Rohrleitungen | --- | NEIN (aber Abschn. 7.4.5, keine unzulässige Lageveränderung) |
| 11) TRR 110 Bauvorschriften Rohrleitungen aus GFK | Abschn. 7.4 | --- | Rohrleitungen | Rohrleitungen | --- | NEIN (aber Abschn. 7.4.7, keine unzulässige Lageveränderung) |
| 12) TRR 120 Bauvorschriften Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen | Abschn. 7.4 | --- | Rohrleitungen | Rohrleitungen | --- | NEIN (aber Abschn. 7.4.7, keine unzulässige Lageveränderung) |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| 13) TRD 452-Anlage 1 Anlagen zur drucklosen Lagerung von Ammoniak-Wassergemischen für Dampfkesselanlagen | Abschn. 6. | Abschn. 6.1.6.2 | Läger | Lagerbehälter | --- | **JA:** Auftriebssicherheit (gegenüber Grundwasser) |
| 14) TRD 452-Anlage 2 Anlagen zur Lagerung von Ammoniakwassergemischen in Druckbehältern für Dampfkesselanlagen | Abschn. 6. | Abschn. 6.1.6.2 | Läger | Lagerbehälter | --- | **JA:** Auftriebssicherheit (gegenüber Grundwasser) |
| 15) TRbF 20 Läger | Nr. 1(3), 4.Anstr. | 4.1.3.2(3) | Tanks | Tanks | --- | **JA:** Auftriebssicherheit (gegenüber Grundwasser, Staunässe oder Überschwemmungen) |
| 16) TRbF 30 Füllstellen, Entleerstellen und Flugfeldbetankungsstellen | Nr. 3, 4 | --- | Abfüllanlagen | Füll-/Entleereinrichtungen | --- | NEIN |
| 17) TRbF 40 Tankstellen | Nr. 1(3), 5.Anstr. | 3.3.3.2(3) | Tanks | unterirdische Tanks | --- | **JA:** Auftriebssicherheit (gegenüber Grundwasser, Staunässe |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| | | | | | | oder Überschwemmungen) |
| 18) TRbF 50 Rohrleitungen | Nr. 1, 5 | --- | Rohrleitungen | Rohrleitungen | --- | NEIN (aber Nr. 5.4.2, keine unzul. Lageveränderung) |
| 19) TRbF 60 Ortsbewegliche Behälter | Nr. 3 | --- | Transportbehälter | Transportbehälter | --- | NEIN |
| 20) TRAC 301 Calciumcarbidlager | Nr. 2.1, 4. | Nr. 4.11 | Läger | Gefäße/Behälter | --- | **JA:** (Schutz der Gefäße vor Überschwemmungswasser durch z.B. erhöhte Aufstellung) |
| 21) Verordnung über Gashochdruckleitungen | §§ 3 und 4 | --- | Leitungen und zugehörige Betriebseinrichtungen | Rohrleitungen, Verdichter | --- | NEIN (aber § 4, weitergehende Anforderungen von der zust. Behörde im Einzelfall zur Abwendung besonderer Gefahren) |
| 22) TRGL 191 Betrieb und Überwa- | Nr. 1. | --- | Gashochdruckleitungen | Rohrleitungen, Verdichter | --- | NEIN |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| chung | | | | | | |
| 23) Verordnung über Rohrfernleitungsanlagen | § 3 | --- | --- | Rohrleitungen, Pumpen/Verdichter | --- | NEIN |
| 24) TRFL Technische Regel für Rohrfernleitungsanlagen | Nr. 5.2.1 | --- | --- | Rohrleitungen | --- | NEIN (aber Nr. 5.2.1.1, lagestabile Verlegung i.d.R. unterirdisch; 5.2.8, Auftriebssicherung bei stark wasserhaltigem Boden) |
| 25) Druckgeräteverordnung 14.GPSGV | §§ 3 und 4 | --- | Druckgeräte | Behälter, Rohrleitungen, Anlagen, Sicherheitseinrichtungen | | NEIN |
| 26) Druckgeräte-Richtlinie/PED (97/23/EG) | Art. 3 und Anh. I | --- | Druckgeräte | Behälter, Rohrleitungen, Anlagen, Sicherheitseinrichtungen | Schutzeinrichtungen | NEIN |
| 27) AD-Merkblatt S 3/0 Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter | Abschn. 4 | --- | Druckgeräte | Behälter, (Rohrleitungen) | --- | NEIN (aber Abschn. 4.2.1.4, Sonderlastfälle berücksichtigen) |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| 28) Explosionsschutzverordnung 11.GPSGV | §§ 3 und 4 | --- | Geräte und Schutzsysteme in explosionsgefährdeten Bereichen, Explosionsschutzeinrichtungen(Vermeidung von Zündquellen, Begrenzung von Expl.auswirkungen) | Maschinen und Sicherheitseinrichtungen in explosionsgefährdeten Bereichen | Betriebs-/Überwachungseinrichtungen u. Schutzeinrichtungen in explosionsgefährdeten Bereichen | NEIN |
| 29) Ex-Richtlinie 94/9/EG (Atex 100a) | Art. 3 und Anh. II | --- | siehe RW 28) | siehe RW 28) | siehe RW 28) | NEIN (aber Anh. II Nr.1.4.1 und 3.0.4, Auslegung der Geräte u. Schutzsysteme für äußere Störungseinflüsse) |
| 30) Ex-Richtlinie 1999/92/EG (Atex 118a/137) Betrieb von Arbeitsmitteln und Anlagen mit Ex-Gefahr | BetrSichV §§ 3 und 5 mit den Anh.3 und 4 | --- | Anlagen, Geräte und Maschinen sowie Schutzsysteme mit Ex-Gefahren | Behälter, Apparate, Rohrleitungen und Maschinen, Sicherheitseinrichtungen | Betriebs-/Überwachungseinrichtungen, Schutzeinrichtungen | NEIN (aber Anh.4 Nr.3.7 BetrSichV, Fluchtmittel bereitstellen bei Gefahr) |
| 31) Explosionsschutz-Regeln – EX-RL (BGR 104) | Abschn. E | --- | siehe RW 28)-30) u. 1) | s. RW 28)-30) u. 1) | s. RW 28)-30) u.1) | NEIN |
| 32) Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostat. Aufladung | Abschn. 3 | --- | Anlagen, Geräte, Maschinen | Behälter/Tanks, Rohrleitungen, Rührwerke | --- | NEIN |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| (BGR 132) | | | | | | |
| 33) Maschinenverordnung 9.GPSGV | §§ 2 und 3 | --- | Maschinen | Pumpen, Verdichter, Rührwerke | Maschinensteuereinrichtungen | NEIN |
| 35) Verordnung über das Inverkehrbringen elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen 1.GPSGV | § 2 | --- | elektr. Maschinen | Antriebe der Pumpen, Verdichter, Rührwerke | elektr. Geräte | NEIN (aber § 2 Abs.2 Nr. 5a/b, techn. Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch äußere Einwirkungen) |
| 36) Gefahrstoffverordnung - GefStoffV | §§ 8 - 13 | --- | Anlagen, techn. Arbeitsmittel | Behälter, Apparate, Maschinen | Betriebs-/Überwachungseinrichtungen, Schutzeinrichtungen | NEIN |
| 37) TRGS 300 Sicherheitstechnik | Nr. 4.2.3/4.2.4 | --- | siehe RW 36) | siehe RW 36) | siehe RW 36) | NEIN (aber Nr. 4.2.4 Abs.2 und 3, Hinweis auf techn. Regeln, Einzelfallbetrachtungen) |
| 38) TRGS 511 Ammoniumnitrat | Nr. 6 | --- | Läger und Abfüllanlagen | --- | --- | NEIN (aber Nr. 6.1.1 Abs.2, Schutz der Stoffe gegen Witterungseinflüsse |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| | | | | | | /Einwirkung von Wasser) |
| 41) TRGS 555 Betriebsanweisung und Unterweisung nach § 20 GefStoffV | Nr. 1 und Anhang | Anhang Bsp. 2.6 Abs. 4.3 | Läger | --- | --- | **JA:** Anweisungen für das Verhalten bei Hochwasser |
| 42) 12. BImSchV Störfall-Verordnung | §§ 3 und 9 | § 3 Abs.2 Nr.3, § 9 Abs.2 u. Anh. II (Abschn.II. Nr.1) | sicherheitsrelevante Betriebsbereichsteile | Behälter/Tanks und Apparate, Rohrleitungen, Maschinen, Sicherheitseinrichtungen | Schutzeinrichtungen | **JA:** Hochwasser als umgebungsbedingte Gefahrenquelle berücksichtigen/entsprechende störfallverhindernde Vorkehrungen treffen; im Sicherheitsbericht nach § 9 hydrografische Daten des Betriebsbereiches angeben |
| | § 10 Abs.1 Nr.1 (Anh. IV) | --- | --- | --- | --- | Erstellung interner Alarm- u. Gefahrenabwehrpläne mit entspr. Informationen |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| | | | | | | |
| 43) Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung vom März 2004(BMU) | Nr. 4 und 9.2 | Nr.4/Anh.1(Nr.1.1), Nr. 9.2.2.1.1/.4 und 9.2.6.1.2 c) | siehe RW 42) | siehe RW 42) | siehe RW 42) | **JA:** Hochwasser als Auslegungsbeanspruchung bei störfallverhindernden Vorkehrungen berücksichtigen; im SiB nach § 9 Entfernungen zu Überschwemmungsgebieten und Gebieten, die bei Deichbrüchen oder Deichüberflutungen betroffen sein können, sowie maximale Pegelstände der relevanten Gewässer angeben; Hochwasser oder Flutwellen als naturbedingte Gefahrenquelle (bei Betriebs- |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| | Nr. 10.3 | Nr. 10.3/Anh .7 (Nr.3.1) | --- | --- | --- | bereichen in gefährdeten Gebieten) abhandeln<br>Alarmplan für den Fall – Hochwasser |
| 44) TRAS 110 Sicherheitstechnische Anforderungen an Ammoniak-Kälteanlagen | Abschn. 3 | Abschn.3 Abs.1 | Kälteanlagen | Behälter und Apparate, Rohrleitungen, Maschinen, Sicherheitseinrichtungen | Schutzeinrich-tungen | **JA:**<br>Hochwasser als umgebungsbedingte Gefahrenquelle berücksichtigen/entsprechende störfallverhindernde Vorkehrungen treffen |
| 45) Berichte und Leitfäden der Störfallkommission(SFK): | | | | | | |
| SFK-GS-44/38/37/35/ 34/33/32/31/ 28/26/24-1 | --- | ---- | --- | --- | --- | NEIN |
| SFK – GS – 41 | Kap. 4.1 Anh. 1 | --- | siehe RW 42) | siehe RW 42) | siehe RW 42) | NEIN<br>(aber Überschwemmung als anlagenexternes Ereignis in einer methodischen Risikoanalyse abhandeln) |
| SFK – GS – 23-1 | Abschn. 3.2 | | siehe RW 42) | siehe RW 42) | siehe RW 42) | NEIN |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| | | | | | | (aber ggf. Darlegung einer Hochwassergefährdung im Konzept zur Verhinderung von Störfällen gem. § 8 StörfallV f. Betriebsbereiche mit den Grundpflichten) |
| SFK-GS-21/20/19/18/ 17/16/15/11/ 06/04/02 | --- | --- | --- | --- | --- | NEIN |
| 46) Berichte und Leitfäden des Technischen Ausschusses für Anlagensicherheit(TAA): TAA-GS-33/24/23/22/ 18/12/06/05/04 | --- | --- | --- | ---- | --- | NEIN |
| TAA – GS - 10 | Teil A, Abschn. 1 | Nr. 1.1.2 | Läger (nach Nr. 9.35 der 4.BImSchV) | Behälter/Tanks, Rohrleitungen und Maschinen, Sicherheitseinrichtungen | Schutzeinrichtungen | JA: Läger für brandfördernde und wassergefährdende Stoffe hochwassersicher errichten |
| TAA – GS – 08 | Anh. Abschn. 1 | Nr. 1.1.3 | Läger (nach Nr. 9.34 u. 9.35 der 4.BImSchV) | Behälter/Tanks, Rohrleitungen und Maschinen, Sicherheitseinrichtungen | Schutzeinrichtungen | **JA:** Läger für sehr giftige/ giftige Stoffe grundsätzlich hoch- |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| | | | | | | wassersicher errichten |
| TAA - GS - 03 | Anlage 7 | Anforderungen an Lagerverzeichnisse | Läger | Behälter/Tanks | --- | **JA:** Lagerverzeichnisse mit Informationen über Gefahren und Gegenmaßnahmen im Hochwasserfall |
| 47) VDI/VDE 2180 Bl. 2 – Klassifizierung v. PLT-Einrichtungen Ausführung, Betrieb und Prüfung von PLT-Schutzeinrichtungen | Abschn. 4 | --- | Prozessanlagen, Läger, Nebenanlagen | --- | Schutzeinrichtungen | NEIN (aber Abschn. 4.2, Umgebungseinflüsse bei Auswahl der MSR-/ PLT-Geräte berücksichtigen) |
| 48) VDI/VDE 2180 Bl.3 – Bauliche und installationstechnische Maßnahmen zur Funktionssicherung v. PLT-Einrichtungen in Ausnahmezuständen | Abschn. 2 - 5 | --- | Prozessanlagen, Läger, Nebenanlagen | --- | Schutzeinrichtungen | NEIN |
| 49) Sicherheitstechnische Anforderungen an Flüssiggasanlagen (Erlässe - Hessen und | Nr. 2 | Nr. 2.1.2 | Läger und Abfüllanlagen | Behälter und App., Rohrleitungen, Pumpen, Verdichter | --- | **JA:** Schutz der Anlagen |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| Niedersachsen) | | | | | | |
| 50) Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz - 2.SprengV | § 2 | Anhang zu § 2<br>Nr. 2.2.6 | Läger | --- | --- | **JA:**<br>Schutz des Lagers |
| 51)Arbeitstätten-verordnung - ArbStättV | §§ 3 und 4 | --- | Prozessanlagen u. Nebenanlagen, Läger, Sicherheitsausrüstungen | --- | --- | NEIN |
| 52) BGR 500 Betreiben von Arbeitsmitteln (BGR= BG-Regel) | Abschn. 2 | --- | siehe RW 1) | siehe RW 1) | siehe RW 1) | NEIN |
| 53) BGV A3 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel (BGV=BG-Vorschrift) | §§ 3 und 4 | --- | Prozessanlagen, Läger, Nebenanlagen | Maschinen und Geräte | Steuereinrichtungen | NEIN<br>(aber DA zu §4 Abs.2, Schutz gegen äußere Einwirkung/ Feuchtigk.) |
| 54) BGV B4 Organische Peroxide | Abschn. IV | --- | Prozessanlagen, Läger, Nebenanlagen | Behälter, Apparate, Maschinen und Rohrleitungen | --- | NEIN |
| 55) BGV B5 Explosivstoffe – Allgemeine Vorschriften | Abschn. III/IV | --- | Prozessanlagen, Läger, Nebenanlagen | Behälter, Apparate, Maschinen und Rohrleitungen | Steuereinrichtungen | NEIN |
| 56) BGV C6 Anlagen für Gase der öffentlichen Gasversorgung | Abschn. III/IV | --- | Prozessanlagen | Behälter, Apparate und Rohrleitungen | --- | NEIN |
| 57) BGV C14 Wärmekraftwerke und | Abschn. III/IV | --- | Läger, Nebenanlagen | Behälter, Apparate | --- | NEIN |

| AUSWERTUNGEN VON REGELWERKEN UND VERORDNUNGEN HINSICHTLICH HOCHWASSERSCHUTZANFORDERUNGEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regelwerke / Verordnungen** | | | **Anlagen / Komponenten / Systeme** | | | **Hochwasserschutz anforderungen** |
| **Regelwerke (RW) Verordnungen** | **Kap./Abs. Nrn. (bez. auf Anlagen und Komponenten)** | **Nrn. (bez. auf Hochwasserschutz)** | **Anlageneinheiten (in Bezug auf Relevanz zur StörfallV)** | **Relevante Komponenten** | **Systeme (MSR/PLT, E.-Technik)** | |
| Heizwerke | | | | und Rohrleitungen | | |
| 58) BGV D5 Chlorung von Wasser | Abschn. II/III | --- | Prozessanlagen, Läger | Apparate | --- | NEIN |
| 59) BGV D14 Wärmebehandlung von Aluminium oder Aluminiumlegierungen in Salpeterbädern | Abschn. III/IV | --- | Prozessanlagen | Behälter, Sicherheitseinrichtungen | Steuereinrichtungen | NEIN |
| 60) BGV D34 Verwendung von Flüssiggas | Abschn. III | --- | --- | Anlagen(Behälter) | --- | NEIN |
| 61) BGV D35 Zubereitungen aus Salpetersäureestern für Arzneimittel | Abschn. V/VI | --- | Prozessanlagen, Läger | Behälter | Schutzeinrichtungen | NEIN |
| 62) VDI 6004 | Blatt 1 | --- | Gebäude | Anlagen | elelektrische Anlagen Heizungsanlagen Kälteanlagen Gasinstallation usw. | JA |

Nach der tabellarischen Zusammenstellung ergeben sich mittelbare und unmittelbare Hochwasserschutzanforderungen in den Regelwerken mit den Nummern 2, 5, 13, 14, 15, 17, 20, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 49 und 50. Zu den so ermittelten Regelwerken werden in den folgenden Abschnitten detaillierte Erläuterungen gegeben.

## 1) BetrSichV § 4 Anforderungen an die Bereitstellung und Benutzung der Arbeitsmittel

(1) Der Arbeitgeber hat die nach den allgemeinen Grundsätzen des § 4 des Arbeitsschutzgesetzes [ArbSchG, 2002] erforderlichen Maßnahmen zu treffen, damit den Beschäftigten nur Arbeitsmittel bereitgestellt werden, die für die am Arbeitsplatz gegebenen Bedingungen geeignet sind und bei deren bestimmungsgemäßer Benutzung Sicherheit und Gesundheitsschutz gewährleistet sind. Ist es nicht möglich, Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten in vollem Umfang zu gewährleisten, hat der Arbeitgeber geeignete Maßnahmen zu treffen, um eine Gefährdung so gering wie möglich zu halten. Die Sätze 1 und 2 gelten entsprechend für die Montage von Arbeitsmitteln, deren Sicherheit vom Zusammenbau abhängt.

(2) Bei den Maßnahmen nach Absatz 1 sind die vom Ausschuss für Betriebssicherheit ermittelten und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Bundesarbeitsblatt veröffentlichten Regeln und Erkenntnisse zu berücksichtigen. Die Maßnahmen müssen dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 und dem Stand der Technik entsprechen.

## 2) TRB 600 Abschn. 3.6

Druckbehälter müssen so aufgestellt oder verankert sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig ändern.

Muss mit einer Veränderung der Lage durch Grundwasser oder Hochwasser gerechnet werden, so muss der Behälter gegen Aufschwimmen gesichert werden z.B.

- durch Verankerung im Boden oder in den Seitenwänden, Abstützung gegen die Raumdecke

oder

- durch entsprechende Belastung, z.B. bei erdgedeckter Aufstellung eine Erdüberdeckung $\geq$ 1 m, Aufbringen einer den Druckbehälter überdeckenden Betonplatte.

Die Verankerung oder Belastung muss eine mindestens 1,3-fache Sicherheit gegen den Auftrieb des leeren Behälters haben, bezogen auf den höchsten zu erwartenden Wasserstand. Die Auftriebssicherungen dürfen die Behälterumhüllung nicht beschädigen.

**4) TRB 700 Abschn. 6.1**

**6. Maßnahmen bei Gefahr, Meldung von Mängeln und Schäden**

6.1 Ergibt sich während des Betriebes eines Druckbehälters ein unmittelbarer Gefahrenzustand, z.B. durch einen unvorhergesehenen Reaktionsablauf oder durch eine gefährliche Einwirkung von außen, so sind die erforderlichen Gegenmaßnahmen zu ergreifen (siehe auch z. B. Abschnitt 2.3). Unter Umständen ist der Druckbehälter außer Betrieb zu nehmen.

Eine Prüfung durch den Sachverständigen bzw. Sachkundigen vor der Wiederinbetriebnahme wird erforderlich, wenn bei dem Gefahrenzustand der zulässige Betriebsüberdruck um mehr als 10% überschritten oder die zulässige Betriebstemperatur erheblich über- bzw. unterschritten oder der Behälter beschädigt worden ist.

6.2 Die mit der Bedienung der Druckbehälter betrauten Personen haben Gefahrenlagen nach Abschnitt 6.1, Mängel und Schäden an Druckbehältern und ihren Sicherheitseinrichtungen dem Betreiber unverzüglich zu melden.

**5) TRB 801 Anlage zur Nr. 25 Abschn. 7.1.10**

**7.1 Anlagen**

7.1.10 Bei der Aufstellung von Anlagen sind Gefahrenquellen, die sich aus der Umgebung ergeben, z. B. Hochwasser, Erdbeben, Bergsenkungen, Nachbaranlagen, zu berücksichtigen.

**9) TRB 852 Abschn. 3.2.2.2**

**3.2 Abfüllen aus Druckgasbehältern auf Fahrzeugen**

**3.2.2.2 Maßnahmen im Gefahrfall**

Im Gefahrfall sind geeignete Maßnahmen durchzuführen, z.B. bewegliche Anschlussleitungen abzutrennen, Behälterfahrzeuge abzuziehen.

**10) TRR 100**

**7.4 Verlegung der Rohrleitungen**

**7.4.5** Rohrleitungen müssen so verlegt sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig verändern. Dies gilt als erfüllt, wenn

2. oberirdische Rohrleitungen auf Stützen in ausreichender Anzahl aufliegen, so dass eine unzulässige Durchbiegung vermieden wird, und sie so befestigt sind, dass gefährliche Lageveränderungen nicht eintreten können, und
3. erdgedeckte Rohrleitungen in Rohrgräben so verlegt sind, dass sie gleichmäßig aufliegen.

**11) TRR 110**

**7.4 Verlegung von Rohrleitungen**

**7.4.7** Rohrleitungen müssen so verlegt sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig verändern. Dies gilt als erfüllt, wenn

2. oberirdische Rohrleitungen auf Stützen in ausreichender Zahl aufliegen, so dass eine unzulässige Durchbiegung vermieden wird und sie so befestigt sind, dass gefährliche Lageveränderungen nicht eintreten können und
3. erdgedeckte Rohrleitungen so verlegt sind, dass sie gleichmäßig aufliegen.

**12) TRR 120**

**7.4 Verlegung von Rohrleitungen**

**7.4.7** Rohrleitungen müssen so verlegt sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig verändern. Dies gilt als erfüllt, wenn

2. oberirdische Rohrleitungen auf Stützen in ausreichender Zahl aufliegen, so dass eine unzulässige Durchbiegung vermieden wird und sie so befestigt sind, dass gefährliche Lageveränderungen nicht eintreten können und
3. erdgedeckte Rohrleitungen so verlegt sind, dass sie gleichmäßig aufliegen.

**13) TRD 452 – Anlage 1**

**6.1.6 Zusätzliche Anforderungen bei erdgedeckter Aufstellung**

6.1.6.1 Lagerbehälter müssen so aufgestellt oder verankert sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig ändern können.

6.1.6.2 Ist mit einer Veränderung der Lage der Behälter durch Grundwasser zu rechnen, so muss der Behälter verankert oder durch entsprechende Belastung gegen Aufschwimmen gesichert werden. Die Verankerung muss eine mindestens 1,3-fache Sicherheit gegen den Auftrieb des leeren Behälters haben. Die Auftriebssicherungen dürfen die Behälterumhüllung nicht beschädigen.

**14) TRD 452 – Anlage 2**

**6.1.6 Zusätzliche Anforderungen bei erdgedeckter Aufstellung**

6.1.6.1 Lagerbehälter müssen so aufgestellt oder verankert sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig ändern können.

6.1.6.2 Ist mit einer Veränderung der Lage der Behälter durch Grundwasser zu rechnen, so muss der Behälter verankert oder durch entsprechende Belastung gegen Aufschwimmen gesichert werden. Die Verankerung muss eine mindestens 1,3-fache Sicherheit gegen den Auftrieb des leeren Behälters haben. Die Auftriebssicherungen dürfen die Behälterumhüllung nicht beschädigen.

**15) TRbF 20**

4.1.3.2 Gründung der Tanks

(3) Soll der Tank in einem Bereich eingebaut werden, in dem mit einer Veränderung seiner Lage durch Grundwasser, Staunässe oder Überschwemmung zu rechnen ist, muss er verankert oder durch entsprechende Belastung gegen Aufschwimmen gesichert sein, wobei die Verankerung oder Belastung mindestens 1,3-fache Sicherheit gegen den Auftrieb des leeren Tanks, bezogen auf den höchsten Wasserstand, haben muss.

**17) TRbF 40**

**3.3.3.2 Gründung von unterirdischen Tanks**

(3) Soll der Tank in einem Bereich eingebaut werden, in dem mit einer Veränderung seiner Lage durch Grundwasser, Staunässe oder Überschwemmungen zu rechnen ist, muss er verankert oder durch entsprechende Belastung gegen Aufschwimmen gesichert sein, wobei die Verankerung oder Belastung mindestens 1,3-fache Sicherheit gegen den Auftrieb des leeren Tanks, bezogen auf den höchsten Wasserstand, haben muss.

**18) TRbF 50**

**5.4 Verlegung der Rohrleitungen**

**5.4.2 Unzulässige Lageveränderung**

(1) Rohrleitungen müssen unter Berücksichtigung der üblicherweise auftretenden Dehnungen so verlegt sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig verändern.

(2) Absatz 1 gilt als erfüllt, wenn
2. Oberirdische Rohrleitungen auf Stützen in ausreichender Anzahl aufliegen, so dass eine unzulässige Durchbiegung vermieden wird, und sie so befestigt sind, dass gefährliche Lageveränderungen nicht eintreten können (zur Festlegung der zulässigen Stützweiten siehe TRR 100 Nummer 6.2.2), und
3. unterirdische Rohrleitungen in Rohrgräben oder -kanälen so verlegt sind, dass sie gleichmäßig aufliegen.

**20) TRAC 301**

**4. Betriebsvorschriften**

**4.1 Allgemeines**

**4.11** (1) Calciumcarbidgefäße sind vor Bodenfeuchtigkeit und Überschwemmungs- und Spritzwasser geschützt aufzustellen (z. B. auf erhöhten Sockeln oder Rosten).
(2) Absatz 1 gilt nicht für Calciumcarbidgefäße nach Nummer 3.13.

**21) Verordnung über Gashochdruckleitungen**
**§ 4 Weitergehende Anforderungen**

Gashochdruckleitungen müssen ferner den über die Vorschriften des § 3 Abs. 1 hinausgehenden Anforderungen genügen, die von der zuständigen Behörde im Einzelfall zur Abwendung besonderer Gefahren für Beschäftigte oder Dritte gestellt werden.

**24) TRFL**

**5.2 Planung der Rohrfernleitungsanlage**

**5.2.1 Verlegung**

**5.2.1.1 Rohrfernleitungen müssen lagestabil verlegt sein; sie sind in der Regel unterirdisch zu verlegen.**

**5.2.8 Sicherheitsmaßnahmen bei nicht tragfähigem oder stark wasserhaltigem Boden.**

Bei nicht tragfähigem oder stark wasserhaltigem Boden müssen für die Rohrfernleitung die im Einzelfall notwendigen Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden. Erforderlichenfalls muss die Rohrfernleitung gegen Absinken oder Auftrieb gesichert sein.

**27) AD-Merkblatt S. 3/0**

**4 Festlegungen für einen Festigkeitsnachweis unter Einschluss der Standsicherheit**

**4.2 Lastfälle**
**4.2.1 Benennung der Lastfälle**
- Sonderfälle (SF)

4.2.1.4 Sonderfälle (SF)
Sonderfälle sind Ereignisfälle, bei deren Eintreten der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann, die aber im Falle des Eintretens beherrscht werden müssen.

**29) Ex-Richtlinie 94/9/EG (Atex 100a)**
**ANHANG II**
**Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen für die Konzeption und den Bau von Geräten und Schutzsystemen zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen**

**1. Gemeinsame Anforderungen für Geräte und Schutzsysteme**

**1.4 Gefahren durch äußere Störungseinflüsse**

1.4.1 Die Geräte und Schutzsysteme müssen so konzipiert und gebaut werden, dass sie auch bei wechselnden Umweltbedingungen, unter dem Einfluss von Fremdspannungen, bei Feuchtigkeitsbelastungen, Erschütterungen, Verschmutzungen sowie sonstigen äußeren Störungseinflüssen innerhalb der vom Hersteller angegebenen Grenzen der Betriebsbedingungen ihre bestimmungsgemäße Funktion sicher erfüllen.

**3. Weitergehende Anforderungen an Schutzsysteme**

3.0 Grundsätzliche Anforderungen

3.0.4 Schutzsysteme dürfen unter dem Einfluss äußerer Störungseinflüsse nicht fehlauslösen.

**30) Ex-Richtlinie 1999/92/EG (Atex 118a/137) - BetrSichV Anhang 4**

**A. Mindestvorschriften zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten, die durch gefährliche explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können**

**3. Explosionsschutzmaßnahmen**

3.7 Soweit nach der Gefährdungsbeurteilung erforderlich, sind Fluchtmittel bereitzustellen und zu warten, um zu gewährleisten, dass die Beschäftigten explosionsgefährdete Bereiche bei Gefahr schnell und sicher verlassen können.

**34) Maschinen-Richtlinie 98/37/EG**
**ANHANG I**

**Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen bei Konzipierung und Bau von Maschinen und Sicherheitsbauteilen**

**1 Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen bei Konzipierung und Bau von Maschinen**

**1.2 Steuerungen und Befehlseinrichtungen**

**1.2.1 Sicherheit und Zuverlässigkeit von Steuerungen**
Steuerungen sind so zu konzipieren und zu bauen, dass sie sicher und zuverlässig funktionieren und somit keine gefährlichen Situationen entstehen. Insbesondere müssen sie so konzipiert und gebaut sein, dass sie den zu erwartenden Betriebsbeanspruchungen und Fremdeinflüssen standhalten;
- Fehler in der Logik zu keiner gefährlichen Situation führen.

**1.3 Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefahren**

1.3.1 Stabilität
Die Maschinen sowie ihre Bestandteile und ihre Ausrüstungsteile müssen so konzipiert und gebaut sein, dass sie unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen (gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Klimabedingungen) ausreichend stabil sind und benutzt werden können, ohne dass die Gefahr eines unbeabsichtigten Umstürzens, Herabfallens oder Verrückens besteht.

Kann aufgrund der Form der Maschine oder der vorgesehenen Installation eine ausreichende Stabilität nicht gewährleistet werden, müssen geeignete Befestigungsmittel vorgesehen und in der Betriebsanleitung angegeben werden.

**35) Verordnung über das Inverkehrbringen elektrischer Betriebsmittel - 1. GPSGV**

**§ 2**
(2) Die elektrischen Betriebsmittel müssen insbesondere folgenden Sicherheitsgrundsätzen entsprechend beschaffen sein:
5. Zum Schutz vor Gefahren, die durch äußere Einwirkungen auf elektrische Betriebsmittel entstehen können, sind technische Maßnahmen vorzusehen, die sicherstellen, dass die elektrischen Betriebsmittel bei bestimmungsgemäßer Verwendung und ordnungsgemäßer Unterhaltung

a) den vorgesehenen mechanischen Beanspruchungen so weit standhalten, dass Menschen, Nutztiere oder Sachen nicht gefährdet werden;
b) unter den vorgesehenen Umgebungsbedingungen den nichtmechanischen Einwirkungen so weit standhalten, dass Menschen, Nutztiere oder Sachen nicht gefährdet werden;

**37) TRGS 300**

**4.2 Sicherheitsgrundsätze, -anforderungen und -maßnahmen**

**4.2.4 Sicherheitsmaßnahmen**

(2) Die jeweiligen Sicherheitsmaßnahmen sind von den Umständen des Einzelfalls abhängig. Sie können abgeleitet werden aus:
1. allgemein anerkannten Regeln der Technik oder aus Regeln nach dem Stand der Technik/ Sicherheitstechnik;
a. Technischen Regeln mit gesetzlicher Grundlage, in deren Geltungsbereich die betrachtete Anlage fällt (z.B. Technische Regeln aufgrund von Verordnungen aus dem Recht der überwachungsbedürftigen Anlagen nach § 11 GSG, aus dem Chemikalienrecht (GefStoffV - TRGS), aus dem Sprengstoffrecht, aus dem Wasserrecht, aus dem Gerätesicherheitsrecht, aus dem sonstigen Arbeitsschutzrecht (z.B. ArbStättV));
b. Technischen Regeln, die sich aus dem Recht der Berufsgenossenschaften zum Erlass von Unfallverhütungsvorschriften aufgrund der Reichsversicherungsordnung ergeben;
c. allgemein anerkannten Regeln der Technik der Berufsgenossenschaften oder privater Institutionen (z.B. Merkblätter, DIN-Normen, VDE – Bestimmungen, VDI-Richtlinien, VdTÜVMerkblätter, DVGW-Arbeitsblätter);

2. Werknormen;

3. Fachliteratur;

4. spezifischen, verfahrensbedingten sicherheitstechnischen Erkenntnissen.
(3) Wegen der Vielzahl der möglichen Maßnahmen und ihrer starken Abhängigkeit vom Einzelfall können die Sicherheitsmaßnahmen nicht aufgelistet werden. Sie sind bei der Sicherheitsbetrachtung einer konkreten Anlage im Einzelfall festzulegen. Hinweise hierzu können der Literatur [11 u.a.] entnommen werden.

**38) TRGS 511**

**6 Vorsorgemaßnahmen**

**6.1 Allgemeine sicherheitstechnische Maßnahmen für Stoffe und Zubereitungen der Gruppen A, B und C**

**6.1.1 Schutz gegen Witterungseinflüsse**
(2) Erforderlich ist ein Schutz gegen Witterungseinflüsse, welche die Eigenschaften der Stoffe und Zubereitungen verändern können. Hierzu gehören u.a. Sonneneinstrahlung, Einwirkung von Wasser in Form von Regen, Nebel und Schnee.
(3) Um ein Zusammenbacken zu verhindern und die Streu- bzw. Rieselfähigkeit zu erhalten, sind die Stoffe und Zubereitungen stets trocken zu lagern.

**39) TRGS 514**

**3 Sicherheitstechnische Maßnahmen**

**3.1 Errichtung von Lägern**

(3) Läger müssen hochwassersicher errichtet werden. Ist dies nicht möglich sind Maßnahmen zu treffen, die eine Gefährdung der Gewässer bei Hochwasser verhindern.

**41) TRGS 555, Anhang**

**2.6 Sammelbetriebsanweisung für Läger**
Als Beispiel ist eine Betriebsanweisung für Pflanzenschutzmittelläger ausgewählt.
**Muster-Betriebsanweisung für Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittelläger (PSMLäger)**
Diese Betriebsanweisung gilt für Läger, in denen Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSM) in für den Anwender bestimmten Verpackungen gelagert werden. Sie gilt für alle Tätigkeiten, die mit dem Lagern in Verbindung stehen.

**4. Verhalten im Gefahrfall**

**4.3 Verhalten bei Hochwasser**
- Produkte aus dem Gefahrenbereich entfernen,
- falls erforderlich, mit Hilfe von Sandsäcken Dämme errichten, ggf. Feuerwehr zu Hilfe rufen,
- bei Überflutung des Lagers Wasserbehörde benachrichtigen.

**42) 12. BImSchV – Störfall-Verordnung**

**§ 3 Allgemeine Betreiberpflichten**

(1) Der Betreiber hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern; Verpflichtungen nach anderen als immissionsschutzrechtlichen Vorschriften

bleiben unberührt.
(2) Bei der Erfüllung der Pflicht nach Absatz 1 sind
1. betriebliche Gefahrenquellen,
2. umgebungsbedingte Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser, und
3. Eingriffe Unbefugter zu berücksichtigen, es sei denn, dass diese Gefahrenquellen oder Eingriffe als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können.

**Anhang II**
**Mindestangaben im Sicherheitsbericht**
**II. Umfeld des Betriebsbereichs**
1. Beschreibung des Standorts und seines Umfelds einschließlich der geographischen Lage, der meteorologischen, geologischen und hydrographischen Daten sowie gegebenenfalls der Vorgeschichte des Standorts.

**§ 10**
**Alarm- und Gefahrenabwehrpläne**
(1) Vor der erstmaligen Inbetriebnahme eines Betriebsbereichs nach § 1 Abs. 1 Satz 2 hat der Betreiber
1. interne Alarm- und Gefahrenabwehrpläne zu erstellen, die die in Anhang IV aufgeführten Informationen enthalten müssen, und
2. den zuständigen Behörden die für die Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erforderlichen Informationen zu übermitteln.
(2) Wenn das Hoheitsgebiet eines anderen Staates von den Auswirkungen eines Störfalls betroffen werden kann, hat der Betreiber den zuständigen Behörden nach Absatz 1 Nr. 2 entsprechende Mehrausfertigungen der für die Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erforderlichen Informationen zur Weiterleitung an die zuständige Behörde des anderen Staates zu übermitteln.

**Anhang IV**
**Informationen in den Alarm- und Gefahrenabwehrplänen**
3. Für vorhersehbare Umstände oder Vorfälle, die für das Auslösen eines Störfalls ausschlaggebend sein können, in jedem Einzelfall eine Beschreibung der Maßnahmen, die zur Kontrolle dieser Umstände bzw. dieser Vorfälle sowie zur Begrenzung der Auswirkungen zu treffen sind, sowie eine Beschreibung der zur Verfügung stehenden Sicherheitsausrüstungen und Einsatzmittel.
4. Vorkehrungen zur Begrenzung der Risiken für Personen auf dem Gelände des Betriebsbereichs, einschließlich Angaben über die Art der Alarmierung sowie das von den Personen bei Alarm erwartete Verhalten.
5. Vorkehrungen zur frühzeitigen Warnung der für die Einleitung der in den externen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen vorgesehenen Maßnahmen der zuständigen Behörde, Art der Informationen, die bei der ersten Meldung mitzuteilen sind, sowie Vorkehrungen zur Übermittlung von detaillierteren Informationen, sobald diese verfügbar sind.
6. Vorkehrungen zur Ausbildung und Schulung des Personals in den Aufgaben, deren Wahrnehmung von ihm erwartet wird, sowie gegebenenfalls zur

Koordinierung dieser Ausbildung und Schulung mit externen Notfall- und Rettungsdiensten.
7. Vorkehrungen zur Unterstützung von Abhilfemaßnahmen außerhalb des Geländes des Betriebsbereichs.

## 43) Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung (März 2004 – BMU)
## 4 Zu § 4 (Anforderungen zur Verhinderung von Störfällen)

Nach § 4 der Störfall-Verordnung hat der Betreiber die zur Verhinderung von Störfällen erforderlichen Vorkehrungen zu treffen. Die Anforderungen des § 4 sind nicht abschließend. Bei der Erfüllung dieser Pflicht sind die in Anhang 1 Nr. 1 und 3 dieser Vollzugshilfe genannten Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

### Anhang 1
### 1 Anforderungen zur Verhinderung von Störfällen
### 1.1 Auslegungsbeanspruchungen
Hinsichtlich der Auslegungsbeanspruchungen können im Einzelnen folgende Gesichtspunkte von Bedeutung sein:
a) Beanspruchungen im bestimmungsgemäßen Betrieb, wie
- umgebungsbedingte Belastungen (z.B. durch Schnee, Erdbeben, Bergschäden, Setzungen, orkanartige Stürme, Hochwasser),

### 9.2.2.1.1 Örtliche Lage
In der Beschreibung des Betriebsbereichs müssen Angaben zu seinem Umfeld, zur örtlichen Lage des Betriebsbereichs und seiner Anlagen sowie zur Infrastruktur innerhalb des Betriebsbereichs enthalten sein, insbesondere über
- sonstige besondere Standortmerkmale, wie z.B.
  Abstände zu Wasserschutzgebieten, nach landesrechtlichen Vorschriften ausgewiesenen Überschwemmungsgebieten und Gebieten, die bei Deichbrüchen oder Deichüberflutungen betroffen sein können,

### 9.2.2.1.4 Meteorologische, geologische und hydrografische Daten
Nach Anhang II Abschnitt II Nr. 1 der Störfall-Verordnung muss die Beschreibung des Umfelds des Betriebsbereichs Angaben über die sicherheitsrelevanten meteorologischen, geologischen und hydrografischen Daten enthalten. Die Angaben sollen eine Beurteilung ermöglichen, inwiefern durch die Meteorologie, Geologie und Hydrologie Einwirkungen auf die Anlagen des Betriebsbereichs möglich sind. Sie sollen ebenfalls eine Abschätzung der Auswirkungen von Störfällen ermöglichen.
Solche Angaben sind in der Regel:
- maximale und minimale Pegel von Gewässern innerhalb und an der Grenze des Betriebsbereichs sowie der Gewässer, die auf den Betriebsbereich einwirken können.

### 9.2.6.1 Beschreibung der Gefahrenquellen
Gefahrenquellen sind Zustände oder Ereignisse, die geeignet sind, einen Störfall zu verursachen.
Es wird zwischen folgenden Gefahrenquellen unterschieden:

- betriebliche Gefahrenquellen (Nr. 9.2.6.1.1),
- umgebungsbedingte Gefahrenquellen (Nr. 9.2.6.1.2) und
- Eingriffe Unbefugter (Nr. 9.2.6.1.3).

**9.2.6.1.2 Umgebungsbedingte Gefahrenquellen**
Umgebungsbedingte Gefahrenquellen sind von außen auf den Betriebsbereich einwirkende Einflüsse, die zu einer Beeinträchtigung der Funktion sicherheitsrelevanter Anlageteile führen können. Ausgangspunkte für Einwirkungen aus der Umgebung des Betriebsbereichs können sein
- benachbarte Betriebsbereiche oder Anlagen,
- benachbarte Verkehrsanlagen und
- naturbedingte Zustände oder Ereignisse,

sofern diese nach Maßgabe der Buchstaben a) bis c) ein erhöhtes Risiko für den sicheren Betrieb darstellen.
c) Als naturbedingte Gefahrenquellen sind z.B. anzusehen
- Hochwasser oder Flutwellen, soweit der Betriebsbereich in einem Überschwemmungsgebiet oder in einem überschwemmungsgefährdeten Gebiet liegt,

**10.3 Interne Gefahrenabwehrpläne (Anhang IV der Störfall-Verordnung)**

**10.3.1 Aufgaben, Inhalt und Anforderungen**
Der interne Gefahrenabwehrplan ist ein auf den Betriebsbereich bezogener Plan, in dem die technischen und organisatorischen Vorkehrungen zur Gefahrenabwehr und insbesondere zur Begrenzung von Störfallauswirkungen beschrieben sind. Der interne Gefahrenabwehrplan ist auf innerbetriebliche und außerbetriebliche Gefahrenpotentiale bezogen zu erstellen; er basiert insbesondere auf möglichen anlagen-, verfahrens- und stoffspezifischen Gefahrensituationen, deren möglichen
- Entwicklungen und Auswirkungen innerhalb des Betriebsbereichs sowie
- Auswirkungen auf die Nachbarschaft und die Umwelt.

**Anhang 7**
**Beispiel einer Gliederung mit Kurzerläuterung für einen internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan**

**3 Alarmplan**

**3.1 Alarmfälle**
Erläuterung: Es werden alle Alarmfälle definiert. Dabei sind zu unterscheiden:
- Ereignisse, die Aktivitäten des Betriebsbereichs entsprechend dem Alarm- und Gefahrenabwehrplan erfordern, und
- Ereignisse, die nach den für den Betriebsbereich geltenden gesetzlichen Vorschriften und Vereinbarungen gegenüber den zuständigen Behörden meldepflichtig sind.

Zum Beispiel: Interne Alarmfälle
Ereignisse, die Aktivitäten des Betriebsbereichs entsprechend dem Alarm- und Gefahrenabwehrplan erfordern, können z.B. sein:
- Sturmflutwarnungen,
- Hochwassergefahren,

## 44) TRAS 110

**Abschn. 3 Stoffeigenschaften und Gefahrenquellen**
(1) Durch die Eigenschaften des Stoffes Ammoniak und die Stoffmenge können sich Gefahren für die im Absatz (9) genannten Schutzobjekte ergeben. Die Sicherheit einer Ammoniak-Kälteanlage ist gewährleistet, wenn ein sicherer Einschluss des in einem geschlossenen Kreislauf befindlichen Ammoniaks gegeben ist. Als Gefahrenquelle ist daher jede Gefährdung des sicheren Einschlusses anzusehen. Die Gefahrenquellen lassen sich unterteilen in
- betriebliche Gefahrenquellen,
- umgebungs- bzw. naturbedingte Gefahrenquellen, also Gefahren, die z. B. von benachbarten Anlagen, Verkehrsanlagen oder Hochwasser einwirken können,
- Gefahren durch Eingriffe Unbefugter.

## 45) SFK-GS-41

**Anhang 1: Kurzdarstellung einiger Methoden der Sicherheits- und Risikoanalyse**

**II Quantitative Methoden**

**II.1 Ereignisablaufanalyse**
Bei der Ereignisablaufanalyse DIN 25419 [23] werden ausgehend von einem definierten auslösenden Ereignis (z.B. Bruch einer Rohrleitung, Ausfall der Energieversorgung) und abhängig von Erfolg oder Versagen dann notwendiger Eingriffe von Sicherheitssystemen, die verschiedenen möglichen Auswirkungen dieses Ereignisses ermittelt. Dabei ist es zweckmäßig, nach anlageninternen und anlagenexternen Ereignissen zu unterscheiden:
- externe Ereignisse sind zum Beispiel
  - Naturereignisse wie Blitzschlag, Erdbeben, Überschwemmung;

**SFK-GS-23-1**
**Abschn. 3 Inhalte des Konzeptes und Darstellung in der schriftlichen Ausarbeitung**

**3.2 Gefahrenpotential des Betriebsbereiches**
Die Grundlage jeder Sicherheitsüberlegung ist die Identifizierung möglicher Gefahren. Die StörfallV 2000 stellt dabei Störfälle in den Mittelpunkt. Grundlegende Fakten zur Identifizierung und Bewertung der Gefahren sind in der Anzeige nach § 7 der StörfallV 2000 enthalten, die zweckmäßigerweise als Kopie beigefügt wird. Auch ein Verweis auf diese Unterlage ist prinzipiell zulässig.
In diesem Abschnitt sollte in nachvollziehbarer Weise dargestellt werden, welche Gefahren von dem Betriebsbereich ausgehen können. Zu diesem Zweck sollten die möglichen Gefahren konkretisiert und hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischen Relevanz beurteilt werden.
Dabei sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:
- Örtliche Lage

Hier sollte insbesondere auf benachbarte Wohnbebauung, schutzwürdige Objekte, und Standortbesonderheiten (Erdbeben, Hochwasser etc.) eingegangen werden.

## 46) TAA-GS-10 Teil A

**1 Auslegung der Anlage für Beanspruchungen im bestimmungsgemäßen Betrieb**
1.1 Standortbezogene Anforderungen
1.1.2 Läger müssen grundsätzlich hochwassersicher errichtet werden, wenn die Stoffe oder Zubereitungen wassergefährdend sind (StörfallV § 3 Abs. 2 Nr. 2).

**TAA-GS-08 Anhang**
**Abschn. 1 Auslegung der Anlage für Beanspruchungen im bestimmungsgemäßen Betrieb**

**1.1 Standortbezogene Anforderungen**

1.1.3 Läger müssen grundsätzlich hochwassersicher errichtet werden (TRGS 514, Nr. 3.1.1)

**TAA-GS-03 Anlage 7**
**Anforderungen an Lagerverzeichnisse**

Der alleinige Zweck der in den Lagerverzeichnissen bereitzustellenden Informationen ist es, den Einsatzkräften vor Ort im Falle von Produktfreisetzungen, im Brandfall, bei Überschwemmungen, etc. Auskunft über die gelagerten Stoffe, über die von den Stoffen ausgehenden Gefahren und über die geeigneten Gegenmaßnahmen im Ereignisfall zu geben.

## 47) VDI/VDE 2180 Blatt 2

**4.2 Auswahl von Messgrößenaufnehmern (Sensoren)**
Die ausgewählten Geräte müssen den am Einsatzort auftretenden Einflüssen standhalten. Sie müssen unter Betriebsbedingungen hinreichend zuverlässig sein und es muss eine einfache Instandhaltung möglich sein. Besonders folgende Einflüsse können die Funktionsfähigkeit von Geräten beeinträchtigen; gegebenenfalls sind geeignete Vorkehrungen zu treffen:

*Umgebungseinflüsse*
- Temperatur und Feuchte, verfahrenstechnisch oder klimatisch bedingt

## 49) Sicherheitstechnische Anforderungen an Flüssiggasanlagen (Erlässe-Hessen und Niedersachsen)

### 2.1 Aufstellung und Ausrüstung

2.1.2 Die Anlagen müssen gegen Grundwasser, Hochwasser und Gefahren, die sich sonst aus der Umgebung ergeben (Bergbaugelände, Erdrutsch, Lawinen, Erdbeben, Bäume), geschützt werden.

## 50) Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz – 2.SprengV
## Anhang zu § 2 der Zweiten Verordnung zum Sprengstoffgesetz (2. SprengV)

### 2 Aufbewahrung von Explosivstoffen in einem Lager

### 2.2.6 Schutz vor Wasser und unbefugtem Zugang

(1) Lager sind gegen das Eindringen von Grund- und Niederschlagswasser sowie gegen Überschwemmungen zu schützen.

## 53) BGV A3

### § 4 Grundsätze beim Fehlen elektrotechnischer Regeln

(1) Soweit hinsichtlich bestimmter elektrischer Anlagen und Betriebsmittel keine oder zur Abwendung neuer oder bislang nicht festgestellter Gefahren nur unzureichende elektrotechnische Regeln bestehen, hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass die Bestimmungen der nachstehenden Absätze eingehalten werden.
(2) Elektrische Anlagen und Betriebsmittel müssen sich in sicherem Zustand befinden und sind in diesem Zustand zu erhalten.
(3) Elektrische Anlagen und Betriebsmittel dürfen nur benutzt werden, wenn sie den betrieblichen und örtlichen Sicherheitsanforderungen im Hinblick auf Betriebsart und Umgebungseinflüsse genügen.

**Durchführungsanweisungen zu § 4 Abs. 2:**
Der sichere Zustand ist vorhanden, wenn elektrische Anlagen und Betriebsmittel so beschaffen sind, dass von ihnen bei ordnungsgemäßem Bedienen und bestimmungsgemäßer Verwendung weder eine unmittelbare (z.B. gefährliche Berührungsspannung) noch eine mittelbare (z.B. durch Strahlung, Explosion, Lärm) Gefahr für den Menschen ausgehen kann.
Der geforderte sichere Zustand umfasst auch den notwendigen Schutz gegen zu erwartende äußere Einwirkungen (z.B. mechanische Einwirkungen, Feuchtigkeit, Eindringen von Fremdkörpern).

### 3.8.4 Bewertung der Regelwerke und Verordnungen hinsichtlich Hochwasserschutzanforderungen

Grundsätzlich ist festzustellen, dass in den ausgewerteten relevanten Regelwerken und Verordnungen eine direkte Festlegung bzw. ein direkter Bezug zum Schutz vor Hochwasser nur selten enthalten ist. So liegen nur punktuelle Angaben verstreut in einer größeren Anzahl von Regelwerken vor. Insgesamt ist festzustellen, dass

- die Technischen Regelwerke nicht in gebotenem Maße die Gefahrenquelle Hochwasser berücksichtigen und
- die Technischen Regelwerke nicht ausreichend konkrete und geeignete Sicherheitsanforderungen begründen.

Die vorhandenen Regelwerke und Verordnungen sind zur Gewährleistung eines adäquaten Hochwasserschutzes als Grundlage für die Planung und den Betrieb für Anlagen daher als unvollständig und unzureichend zu bewerten. Ein übergreifendes technisches Regelwerk zum Hochwasserschutz für Anlagen und Betriebsbereiche gibt es nicht.

Es wird von den Verfassern dieses Forschungsberichtes empfohlen, ein gesondertes neues Regelwerk zum Hochwasserschutz für die Auslegung und zum Betrieb von sicherheits- und umweltrelevanten Komponenten in Anlagen nach § 19 g WHG sowie Betriebsbereichen gemäß der StörfallV zu erstellen, welches auch übergreifend ganze Anlagenkomplexe erfassen sollte.

# 4 Heizöl- und Flüssiggaslagerung in Überschwemmungs- und überschwemmungsgefährdeten Gebieten

Bezüglich der Lagerung brennbarer Gase beschränkt sich diese Untersuchung auf die Lagerung von Flüssiggas.[6]

## 4.1 Mögliche Gefahren bei Heizöllagerung

Heizöl EL (im Folgenden als Heizöl bezeichnet) ist ein wassergefährdender Stoff der Wassergefährdungsklasse (WGK) 2. Daher muss die Heizöllagerung in Überschwemmungsgebieten hohen Sicherheitsansprüchen genügen, um ein Austreten von Heizöl auch für den Fall eines Hochwassers zu verhindern. Dringt Wasser in ein Gebäude ein, können nicht ausreichend gesicherte Behälter aufschwimmen und umkippen. Hierbei besteht die Gefahr, dass Rohrleitungen abgetrennt und die Behälter durch den Wasserdruck eingebeult oder sogar undicht werden.

Das Wasser kann aber auch über nicht gesicherte Behälteranschlüsse und Rohrleitungsverbindungen oder über nicht ausreichend hoch genug geführte Entlüftungsleitungen in den Behälter gelangen. Da Heizöl leichter als Wasser ist, wird es vom eindringenden Wasser aus dem Tank gedrückt und gelangt dann in den Aufstellraum oder in die Umgebung. Dies kann nicht nur zu einem erheblichen Schaden am Gebäude, sondern auch zu einem Gewässerschaden führen. Mögliche Gefahren der Heizöllagerung in Überschwemmungsgebieten zeigen die **Abbildungen 4.1.1 bis 4.1.4**.

**Abbildung 4.1.1**: Eingebeulter Heizöl-Lagerbehälter

[6] entsprechend einer Abstimmung mit dem Umweltbundesamt

**Abbildung 4.1.2**: Aufgeschwommene Heizöl-Lagerbehälter

**Abbildung 4.1.3**: Ausgetretenes Heizöl in einem Keller

**Abbildung 4.1.4**: Ölfilm auf Gewässer

## 4.2 Prüfung der Heizöllagerung durch Sachverständige

Verschiedene Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen unterliegen nach den Landeswassergesetzen und den VAwS-Anlagenverordnungen einer Prüfpflicht. Unter dieser Prüfpflicht fallen insbesondere:

- Anlagen mit unterirdischen Lagerbehältern,
- Anlagen mit oberirdischen Lagerbehältern bei einem Gesamtrauminhalt von mehr als 10.000 Liter,
- unterirdische Rohrleitungen sowie
- andere Anlagen oder Teile davon, wenn dies in der Bauartzulassung ausdrücklich vorgeschrieben ist.

Über diese normale Prüfpflicht hinaus müssen in festgesetzten Überschwemmungsgebieten alle im Gebäude oder im Freien aufgestellten Anlagen zum Lagern von Heizöl mit einem Tankvolumen über 1.000 Liter vor Inbetriebnahme und nach einer wesentlichen Änderung durch zugelassene Sachverständige geprüft werden. Ziel dieser einmaligen Prüfung ist es, festzustellen, ob die Heizöllagerung den technischen Anforderungen in Überschwemmungsgebieten entspricht. Festgestellte Mängel an den Anlagen sind zu beheben, so dass Schäden bei einem Hochwasser vermieden werden.

## 4.3 Stand der Technik zum Schutz von Anlagen zum Lagern von Heizöl

Der sicherste Schutz von Anlagen zum Lagern von Heizöl in Überschwemmungsgebieten gegen die Einwirkung von Hochwasser ist die Aufstellung oberhalb des maximal möglichen Hochwasserstandes. Da dies jedoch oftmals nicht möglich ist, muss entweder das Wasser vom Tanklager ferngehalten oder das Tanklager muss gesichert werden.

Um das Wasser von den Heizöllagerbehältern fern zu halten, müssen die Aufstellräume gegen drückendes Wasser gesichert werden. Eine ausreichende Auftriebssicherheit für das Gebäude ist erforderlich. Mit speziellen Vorrichtungen sind Raumöffnungen, wie Türen, Lichtschächte, Fenster sowie Durchführungen von Trinkwasser-, Abwasser-, Heizöl-, Telefon- und Stromleitungen, gegen den anstehenden

Wasserdruck und Rückstau abzudichten. Auch die Entlüftungsleitungen der Heizölbehälter müssen so hoch geführt werden, dass kein Wasser eindringen kann.

Kann das Wasser von den Heizöllagerbehältern nicht fern gehalten werden, so ist eine Sicherung der Behälter gegen Aufschwimmen erforderlich. Dies kann durch Verankern am Boden oder Abspreizen gegen die Decke und/oder die Wände erfolgen (**Abbildung 4.3.1**). Zu beachten ist dabei, dass der Behälter auch den Druck des Wassers von außen standhalten muss, ohne einzubeulen oder undicht zu werden. Zudem muss das Gebäude die auftretenden Kräfte aufnehmen können (ein leerer 1.000 l-Behälter erzeugt beispielsweise einen Auftrieb von 1 Tonne).

**Abbildung 4.3.1**:
Hochwassersicherer Kunststofftank
mit Verankerung am Boden

**Abbildung 4.3.2** zeigt die Auswirkungen einer Wassersäule von 3 Meter bei einem konventionellen Kunststofftank im Vergleich zu einem hochwassersicheren Tank.

**Abbildung 4.3.2**: Konventioneller Kunststofftank und hochwassersicherer Tank nach Druckeinwirkung

Unterirdische Behälter können mit relativ geringem Aufwand gegen Auftrieb gesichert werden. Beispielsweise können sie nachträglich mit einer Betonplatte beschwert oder auf einer Fundamentplatte verankert und zusätzlich gegen Drehen gesichert werden. Weiter gibt es Heizöltanks, die für die Aufstellung im Überschwemmungsgebiet geeignet sind und eine entsprechende Zulassung haben.

## 4.4 Mögliche Gefahren bei Flüssiggaslagerung

Flüssiggase sind hochentzündliche Stoffe, die bei einer Freisetzung und Verdampfung mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden. Die Flüssiggaslagerung muss daher in Überschwemmungsgebieten hohen Sicherheitsansprüchen genügen, um im Falle eines Hochwassers eine Freisetzung zu verhindern. Eine Einstufung der Flüssiggase und der relevanten physikalischen Daten ist in der **Tabelle 4.4.1** enthalten.

**Tabelle: 4.4.1**: Einstufung der Flüssiggase nach DIN 51622 mit Kenndaten

| Stoff | Einstufung | StörfallV *) lfd. Nr. | Siedetemp. bei 1,013 bar (°C) | Dampfdruck bei 20°C 50°C (bar) | Flüssigkeits-dichte bei 20°C (kg/m³) | Explosions-grenzen (Vol.-%) | Wasserge-fährdungs-klasse |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Propan | R12 / hochentzündlich | 11 (8) | -42,1 | 8,3<br>17,2 | 500 | 1,7 – 10,8 | nicht wasserge-fährdend |
| Propen | R12 / hochentzündlich | 11 (8) | -47,7 | 10,3<br>20,7 | 515 | 1,8 – 11,2 | nicht wasserge-fährdend |
| n-Butan | R12 / hochentzündlich | 11 (8) | -0,5 | 2,1<br>4,9 | 579 | 1,4 – 9,4 | nicht wasserge-fährdend |
| i-Butan | R12 / hochentzündlich | 11 (8) | -11,7 | 3,0<br>6,9 | 557 | 1,3 – 9,8 | nicht wasserge-fährdend |
| Buten-1 | R12 / hochentzündlich | 11 (8) | -6,2 | 2,5<br>6,0 | 596 | 1,2 – 10,6 | nicht wasserge-fährdend |
| i-Buten | R12 / hochentzündlich | 11 (8) | -7,1 | 2,5<br>6,1 | 594 | 1,6 – 10 | nicht wasserge-fährdend |

*) 8: hochentzündlich

11: hochentzündliche verflüssigte Gase

### 4.4.1 Genehmigungspflicht, Genehmigungsbefreiung

Die Lagerung von brennbaren Gasen mit einem Fassungsvermögen von 30 Tonnen oder mehr ist nach der 4. BImSchV, Spalte 1 genehmigungspflichtig. Die Genehmigung ist in einem förmlichen, öffentlichen Verfahren nach § 10 des BImSchG durchzuführen.

Die Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern mit einem Fassungsvermögen von 3 Tonnen bis weniger als 30 Tonnen ist nach der 4. BImSchV nach Spalte 2 genehmigungspflichtig. Die Genehmigung kann nach einem vereinfachten Verfahren gemäß § 19 des BImSchG erfolgen.

Flüssiggasanlagen mit ≥ 50 t fallen unter die Grundpflichten, solche mit ≥ 200 t fallen unter die erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung (Nr. 11 der Spalte 1 der Stoffliste des Anhangs I der StörfallV). Genehmigungspflichtige Flüssiggasbehälter unterliegen stets einer behördlichen/staatlichen Überwachung. Die Lagerung von Flüssiggasen in Behältern < 3 t ist i.d.R. genehmigungsfrei.

Als vormals Flüssiggase noch eine Wassergefährdungsklasse (WGK 0) aufwiesen, war eine Genehmigung zur Lagerung auch mit kleinen Mengen bei der Unteren Wasserbehörde Pflicht. Durch Änderung der Einstufung von wassergefährdenden Stoffen in Wassergefährdungsklassen mit der VwVwS vom 17.05.1999 entfiel eine Wassergefährdungsklasse für Flüssiggase [VwVwS, 1999].

Für die im Forschungsvorhaben betrachteten Länder ergeben sich Unterschiede in der Bewertung einer Genehmigungsbefreiung für kleinere Mengen (**Tabelle 4.4.1.1**). Eine behördliche Kontrolle zu Anzahl und Standorten von Flüssiggaslagerbehältern mit genehmigungsfreien Mengen ist in Sachsen-Anhalt und Sachsen nicht gegeben. Dies gilt auch für Überschwemmungsgebiete. Eine Ausnahme bilden in Sachsen die wenigen, nicht genehmigungspflichtigen Flüssiggaskleinbehälter, die in Gewerbebetrieben aufgestellt sind. Diese befinden sich in der Überwachung durch die staatlichen Gewerbeaufsichtsämter.

**Tabelle 4.4.1.1**: Anzeige- bzw. Genehmigungspflicht für kleine Flüssiggasmengen

| | **Nordrhein-Westfalen** | **Sachsen-Anhalt** | **Sachsen** |
|---|---|---|---|
| Genehmigungsfrei | ortsfeste Behälter für verflüssigte Gase bis 5 m³ Rauminhalt. | Behälter für verflüssigte Gase mit einem Fassungsvermögen von weniger als 3 t. | Behälter für verflüssigte Gase mit einem Fassungsvermögen von weniger als 3 t. |
| Anzeigepflicht | Eine Unternehmensbescheinigung oder Bescheinigung eines Sachverständigen ist der Baubehörde nach Aufstellung des Behälters einzureichen. Erteilung der "Benutzungsgenehmigung" durch die Baubehörde auf Antrag | | |
| Genehmigungspflicht nach LBO | ab 5 m³ | ab 3 t | ab 3 t |

### 4.4.2 Prüfung der Flüssiggaslagerung durch Sachkundige und Sachverständige

Diese sogenannten Kleinbehälter, die insbesondere der Versorgung von Privathäusern dienen, werden nach den Recherchen in Sachsen-Anhalt und Sachsen zu 99,9 % von regionalen oder überregionalen Flüssiggasvertriebsfirmen aufgestellt, verbleiben in deren Besitz und werden von diesen Firmen befüllt und gewartet.

Eine gewisse Kontrolle ist lediglich durch die Sachverständigen, wie z.B. der TÜVs, gegeben, sofern diese eingeschaltet werden. Eine äußere Prüfung, die alle 2 Jahre durchzuführen ist, kann auch durch den Sachkundigen der Betreiberfirma vorgenommen werden. Die alle 10 Jahre erforderliche innere Prüfung muss durch einen Sachverständigen durchgeführt werden.

### 4.4.3 Stand der Technik zum Schutz von Flüssiggaslageranlagen

Um einen sicheren Schutz für Flüssiggaslageranlagen zu erreichen werden die nachfolgenden Maßnahmen durch die Berichterstatter empfohlen:

In Überschwemmungsgebieten besteht der sicherste Schutz gegen die Einwirkung von Hochwasser in einer Aufstellung der Flüssiglagertanks oberhalb des maximal möglichen Hochwasserstandes. In Fällen, in denen dies nicht möglich ist, kann z.B. durch Installationen in Wannen das Hochwasser ferngehalten werden. Ansonsten ist ein Flüssiggastank mit einer mindestens 1,3-fachen Sicherheit gegen Auftrieb zu sichern. Die Auftriebskräfte sollten von einem Fachmann (Statiker) festgelegt werden. Die Forderung entspricht einer vormaligen baurechtlichen Regelung in Sachsen. Dies gilt gleichermaßen für unterirdische Tanks auch in Sandbettlagerung mit Erddeckung. Der Boden ist in diesem Fall vor Einlegen zu verdichten und das Sandbett mit einer Stärke von 20 cm einzubringen.

Die Erddeckung muss entsprechend der TRB 600 mindestens 1 m betragen. Der Behälter selbst muss allseitig von einer 20 cm dicken steinfreien Sandschicht umgeben sein, die in Lagen einzuschwemmen ist. Diese unterirdischen als auch oberirdischen Behälter müssen in adäquater Entfernung von Kabeln, fremden Leitungen und Gebäuden bzw. Gebäudefundamenten entfernt sein.

Folgende technischen Standards sollen auf Vorschlag der Berichterstatter Berücksichtigung finden:

- ***Unterirdische Lagerbehälter***
  Zylindrischer Stahlbehälter nach DIN 4681 komplett mit Armaturen.
  Vorschriftsmäßige Schutzisolierung außen, Sicherheits-, Befüll- und Kontrollarmaturen, Gasentnahmeventil POL 1/2“ li. NPT, Inhaltsanzeiger und Domschacht.
  Armaturen fertig eingedichtet und auf Dichtheit geprüft, werkseitig vom Sachverständigen geprüft bzw. Baumusterprüfung einschließlich der Behälterpapiere.

- ***Halboberirdische Lagerbehälter***
  Eine Variante für die Einlagerung von Flüssiggas ist der halboberirdische Lagerbehälter. Er wird wie ein unterirdischer Behälter in einem Sandbett eingelagert. Er ist im unteren Bereich expoxydharzbeschichtet.

- ***Oberirdische Lagerbehälter***
  Zylindrischer Stahlbehälter mit angeschweißten Füssen nach DIN 4680 komplett mit Armaturen, vorschriftsmäßiger, weißer (RAL 9010) reflektierender Schutzanstrich, Sicherheits-, Befüll- und Kontrollarmaturen, Gasentnahmeventil POL 1/2“ li. NPT, Inhaltsanzeiger. Entnahmearmaturen durch verschließbare Abdeckhaube geschützt. Armaturen fertig eingedichtet und auf Dichtheit geprüft, werkseitig vom Sachverständigen geprüft bzw. Baumusterprüfung einschließlich der Behälterpapiere.

- ***Großlagertanks***
  In einer größeren Anzahl von Anlagen bzw. Betriebsbereichen, die unter die Störfall-Verordnung fallen, sind häufig Flüssiggase von mehreren tausend Tonnen in großen unterirdischen zylindrischen oder oberirdischen, meist kugelförmigen Lagertanks gespeichert. Das wesentliche technische Regelwerk war bislang die TRB 801, speziell der Anhang 25. Auch für solch große Flüssiggastanks ist in hochwassergefährdeten Gebieten zu empfehlen, diese gegen Aufschwimmen oder Treibgut zu sichern. Dies ist bislang in Deutschland i.d.R. nicht der Fall. (Neuralgische Punkte bezüglich der Statik sind z.B. die Stützen an Kugellagertanks.)

- *Oberirdische Lagerbehälter sind generell nach TRB 600 sowie TRB 801 so aufzustellen, dass sie gegen Strömung, Treibgut und Eisgang gesichert sind.*

Im Folgenden Darstellungen von Kugellagertanks mit herkömmlicher Stützenlagerung und mit einer sicheren sogenannten Eierbecherlagerung:

**Abbildung 4.4.3.1**: Kugellagertanks für Flüssiggas

**Abbildung 4.4.3.2**: Sanierte Kugellagertanks für Flüssiggas

# 5 Hochwassermanagement zur Gefahrenabwehr und Gefahrenminimierung

Ein nachhaltiges Hochwassermanagement setzt ein abgestimmtes vorbeugendes Handeln sowie Maßnahmen zur effektiven Gefahrenabwehr voraus. Die entsprechenden Stichworte sind gemäß den „Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [LAWA,1995]:

- Hochwasservorsorge
- Technischer Hochwasserschutz
- Einsatzplanung für den Ereignisfall

Diese Begriffe sind in der **Abbildung 5.1** näher aufgeschlüsselt.

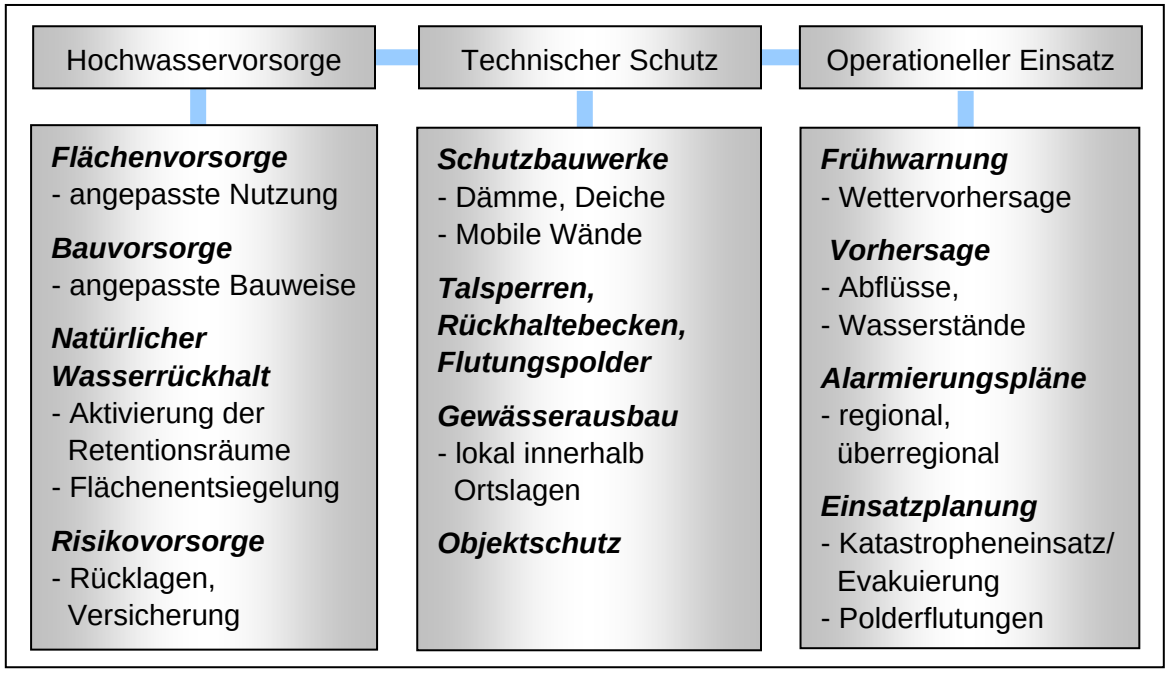



**Abbildung 5.1:** Teilstrategien eines nachhaltigen Hochwassermanagements („3-Säulen-Konzept“)

Das übergeordnete Ziel dieses sogenannten „3-Säulen-Konzeptes“ (Abbildung 5.1) ist es, schädigende Auswirkungen von Hochwasserereignissen zu vermindern. Der technische Hochwasserschutz (z.B. Deiche) spielt hierbei traditionell eine zentrale Rolle, kann aber Schäden nur bis zum Bemessungshochwasser verhindern. Die Hochwasservorsorge (z.B. durch angepasste Flächennutzung und Bauweisen) und die Einsatzplanung für den Ereignisfall (Verhaltensvorsorge) gehen darüber hinaus

und tragen dazu bei, Schäden auch bei extremeren, nicht vorhersagbaren Ereignissen (z.B. Deichversagen) zu vermindern. Die LAWA hat bezogen auf dieses 3-Säulen-Konzept ihre Empfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz konkretisiert [LAWA, 2004]. Diese beschränken sich jedoch im Wesentlichen auf die behördlichen Aufgaben. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens stehen jedoch konkret Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen sowie VAwS-Anlagen, im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Mit dem Blickwinkel eines Betreibers (anlagenbezogener Ansatz) lässt sich das 3-Säulen-Konzept für den Schutz vor hochwasserbedingten Schäden schematisch etwa wie folgt konkretisieren (**Abbildung 5.2**).

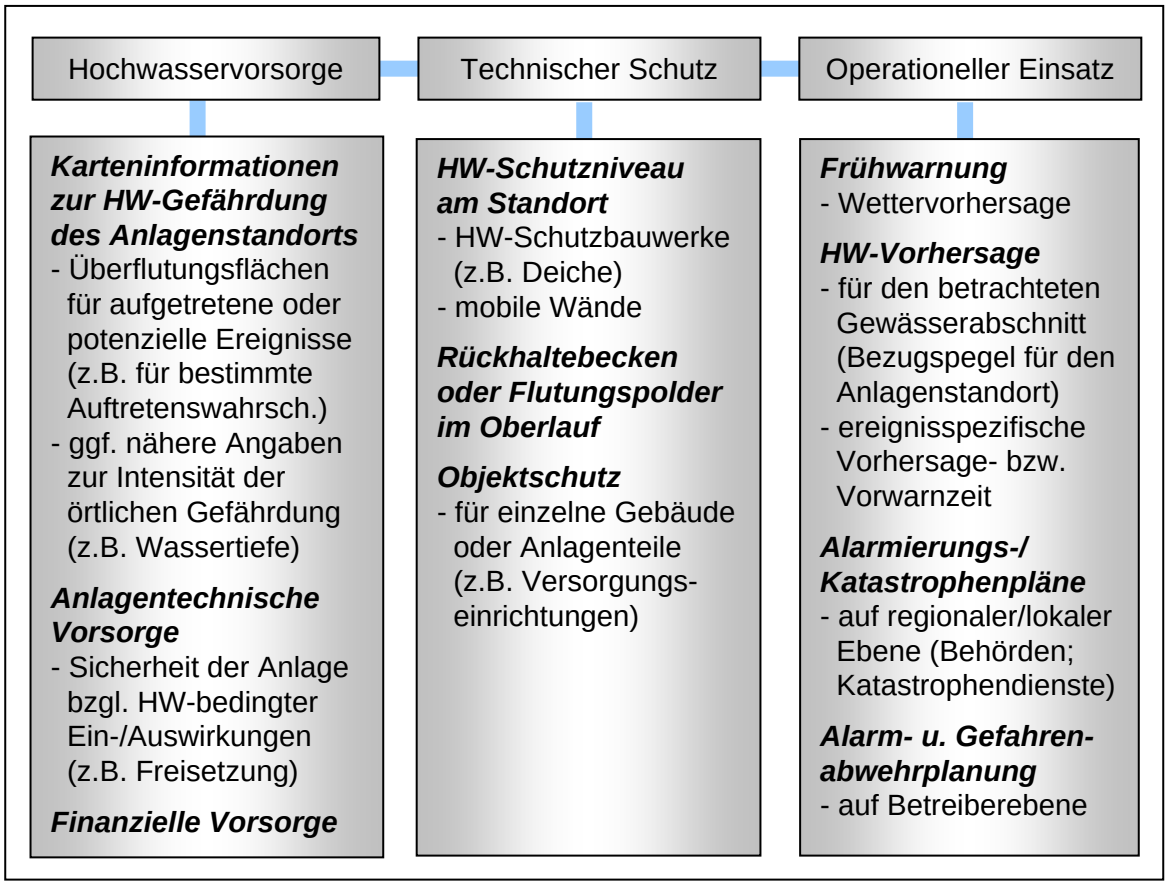



**Abbildung 5.2**: Wesentliche Elemente des „3-Säulen-Konzepts“ aus der Sicht des Betreibers einer bestehenden Anlage (skizzenhaft)

Es ist hervorzuheben, dass in einem solchen „anlagenbezogenen Gesamtkonzept“ (Abbildung 5.2) sowohl die behördlichen als auch die betrieblichen Maßnahmen des Hochwassermanagements zusammenspielen müssen, wobei auch das mögliche Versagen von Schutzmaßnahmen einzubeziehen ist. Die Bedeutung einzelner Ele-

mente eines solchen Konzepts ist vom einzelnen Standort abhängig. Als entscheidende Elemente sind zu nennen:

- Detailinformationen zur Hochwassergefährdung des Standorts (vor allem Karten)
- Verständnis der Möglichkeiten und Grenzen des technischen HW-Schutzes (Frage des „Restrisikos“ am Standort bzw. der Anlage)
- Koordiniertes und kooperatives Handeln zwischen Anlagenbetreibern und Behörden im Hinblick auf die Gefahrenabwehr im Ereignisfall

Für alle behördlichen und betrieblichen Maßnahmen müssen Planungsgrundlagen geschaffen werden. In diesem Kapitel werden beispielhaft die zur Verfügung stehenden Methoden und Verfahren dargestellt, die zu einer Verbesserung des Hochwasserschutzes bzw. der Anlagensicherheit beitragen können. Insbesondere die steigende Leistungsfähigkeit der Rechner ermöglicht es, verschiedene Szenarien mit einer zunehmenden Informationsdichte zu simulieren. Die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet hat in den letzten Jahren beeindruckende Fortschritte zu verzeichnen. Es wird dargestellt, wie die Behörden diese neuen Möglichkeiten nutzen, um damit auch präzisere Informationen den Anwohnern und Anlagenbetreibern zur Verfügung stellen zu können. Grundsätzlich ist es auch denkbar, dass die Unternehmen direkt die neuen technischen Möglichkeiten selbst nutzen, um die betrieblichen Maßnahmen zum Hochwasserschutz zu verbessern.

Für eine möglichst wirksame Gefahrenabwehr ist auf der einen Seite eine ganzheitliche Flussgebietsbetrachtung mit den daraus abzuleitenden Maßnahmen zum Hochwasserschutz entlang eines Flussgebietes erforderlich (regionale Betrachtung), auf der anderen Seite benötigen Anlagenbetreiber von den Behörden Informationen, um ihre Anlagen optimal schützen zu können (lokale Betrachtung).

**Abbildung 5.3** veranschaulicht den Weg von den vorhandenen Informationsquellen und getroffenen Annahmen (Input-Daten) über die rechnergestützten Berechnungsverfahren hin zu den Entscheidungsträgern (Behörden und Anlagenbetreiber). Diese müssen dann im Sinne des 3-Säulen-Konzeptes geeignete Maßnahmen entwickeln und durchsetzen.

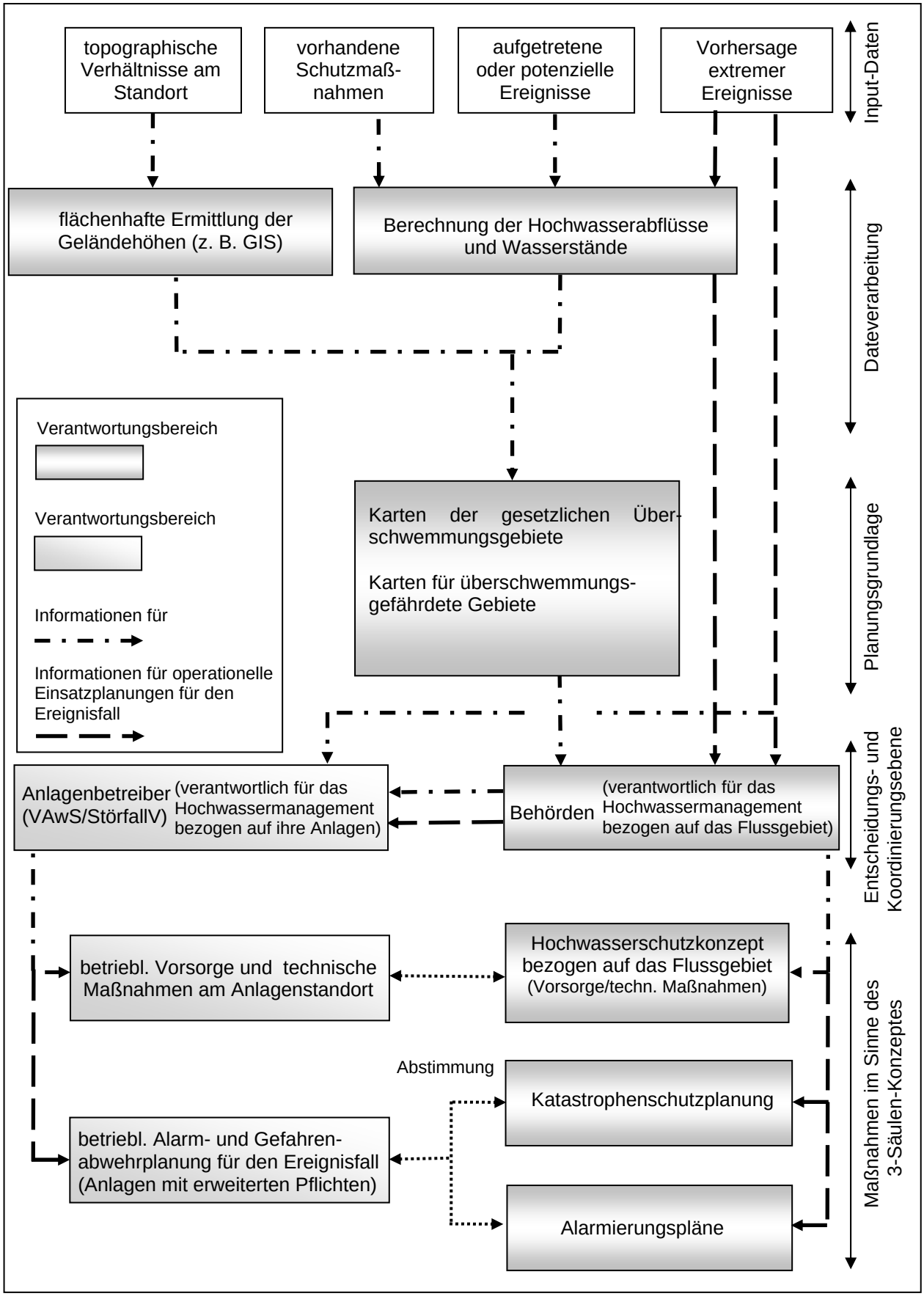



**Abbildung 5.3**: Schema zur Umsetzung des 3-Säulen-Konzeptes

In der Abbildung 5.3 wird zwischen Informationen, die als Planungsgrundlage für technische Maßnahmen erarbeitet werden, und Informationen, die zur Gefahrenabwehr im Ereignisfall dienen, unterschieden. Während der Zeithorizont zur Realisierung von technischen Maßnahmen, z.B. für den Deichbau oder der Schaffung von Retentionsräumen, eher langfristig anzusetzen ist, sind im Ereignisfall die operationellen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr kurzfristig durchzuführen. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Verantwortungsbereiche von Behörden und Anlagenbetreibern farblich abgesetzt.

Eine zentrale Aufgabe des Hochwassermanagements ist die Berechnung des Hochwasserabflusses sowie der Wasserspiegellagen entlang eines Flusslaufs. Diese Berechnungen sind nicht nur ein wesentliches Element zur Planung technischer Maßnahmen, sondern auch ein Hilfsmittel zur Gefahrenerkennung im Ereignisfall. In diesem Fall stellen die Niederschlagsvorhersage sowie die Messung aktueller Pegelstände weitere wichtige Elemente zur Vorhersage von Extremereignissen dar.

Gegenwärtig betreibt der Deutsche Wetterdienst für Mitteleuropa ein Wettermodell mit einem Raster von 7 km. Der nächste Schritt ist für die Einführung einer Version mit einer Maschenweite von 2,8 km. Insbesondere im Gebirge mit dem Wechsel von Berg und Tal auf kurzen Distanzen bedeutet dies einen erheblichen Fortschritt. Allerdings befindet sich das engmaschigere Vorhersagemodell derzeit noch in der Erprobung. Vom DWD wird betont, dass hundertprozentige richtige Vorhersagen extremer Regenfälle bislang mit keinem Modell erreichbar sind [VDI nachrichten, 2005]. Eine Verknüpfung von Niederschlag und Abflussmengenberechnung ist zudem noch nicht flächendeckend verfügbar.

Die Grenzen von Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten werden durch eine Verknüpfung der berechneten Wasserstände mit den Geländehöhen (topografische Daten) ermittelt. Dieses erfolgt in der Regel mit Hilfe von GIS-gestützten Hochwassersimulationssystemen [Oberle u. Nestmann, 2003]. Die hieraus entstehenden Hochwassergefahrenkarten bilden eine wesentliche Planungsgrundlage für die behördlichen und betrieblichen Entscheidungsträger. Dabei muss zwischen Karten, in denen die rechtsverbindlichen Überschwemmungsgebiete ausgewiesen sind (meist für $HQ_{100}$), und Karten, in denen überschwemmungsgefährdete Gebiete dargestellt sind, unterschieden werden.

Die Behörden müssen für ihren Verantwortungsbereich im Sinne des 3-Säulen-Konzeptes ein Hochwasserschutzkonzept erarbeiten und umsetzen. Darüber hinaus stellen sie den Anlagenbetreibern Informationen, insbesondere das Kartenmaterial,

zur Verfügung, damit diese die notwendigen technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Schutz der Betriebsbereiche und Anlagen planen und realisieren können. Hierzu zählt nicht nur Objektschutz, sondern auch der organisatorische Ablauf im Rahmen der Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen. Allerdings sind letztere nur für Betriebsbereiche zu erstellen, die den erweiterten Pflichten entsprechend der Störfall-Verordnung unterliegen. Die betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne sind mit den Alarmierungsplänen und Katastrophenschutzplänen der Behörden für den Ereignisfall abzustimmen und zu erproben. In den folgenden Abschnitten werden einzelne Bausteine des Hochwassermanagements bezüglich ihrer Möglichkeiten und Grenzen näher erläutert.

## 5.1 Kurzdarstellung wasserwirtschaftlicher Grundbegriffe

Für wasserwirtschaftliche Fragestellungen sind die mittleren und extremen Hochwasser wichtig, verknüpft mit der Frage bis zu welchem Grad sie beherrschbar sind. Besonders in kleinen und mittleren Einzugsgebieten kann das Hochwasser durch anthropogene Einflüsse wie die Zunahme von Versiegelungsflächen, Vergrößerung der hydraulischen Kapazität des natürlichen oder künstlichen Entwässerungsnetzes verstärkt werden. Der Gewässerausbau erfolgte im Zuge der Umgestaltung des Gewässer zur Optimierung der Nutzungen oder zu einer gewässernahen Nutzung der Talflächen und steht im Konflikt zu der Aktivierung natürlicher Speicherräume.

Wesentliche Merkmale von Hochwasserereignissen sind [Patt, 2001]:

- der Scheitelwasserstand bzw. -abfluss als wichtigstes Ordnungsmerkmal für Bemessungsaufgaben und zur Schätzung des Schadenspotenzials,
- die Hochwasserabflusssumme zur Dimensionierung von Hochwasserschutzräumen,
- die Hochwasserdauer, die als Überschreitungsdauer von Wasserständen für die Sicherheit von Deichen und Böschungen oder als Überflutungsdauer von Nutzflächen kritisch werden kann, sowie
- die Laufzeit, die als Indikator für Vorwarnzeiten und als Zusatzinformation zur Auswahl der Art einer Hochwasserschutzanlage herangezogen wird (**Abbildung 5.1.1**).

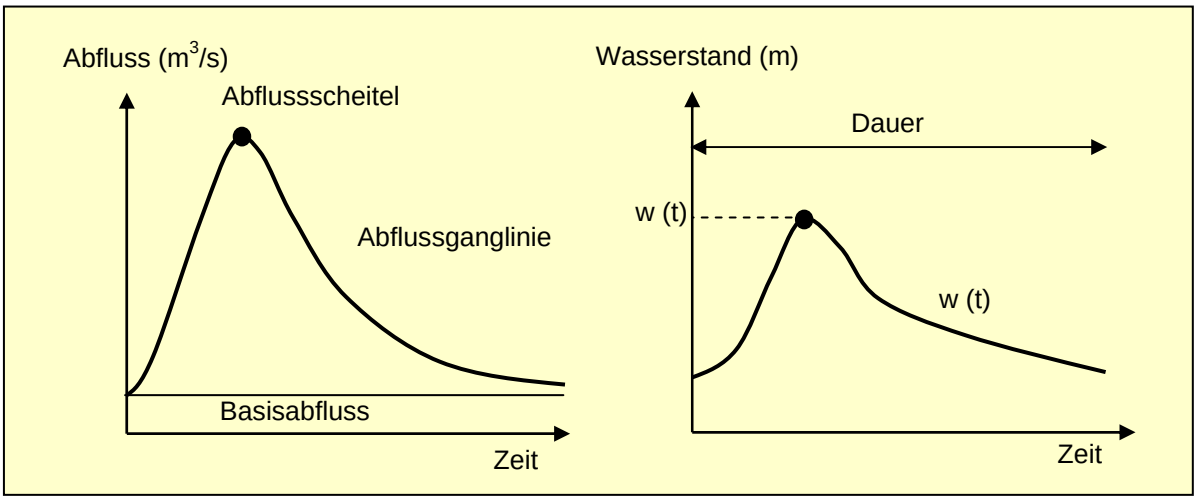



**Abbildung 5.1.1**: Abflussganglinie und Wasserstandsganglinie einer Hochwasserwelle

Bei bekannten Flussprofilen lassen sich auch die Strömungsgeschwindigkeiten errechnen.

## 5.2 Auswertung statistischer Daten

Für verschiedene wasserwirtschaftliche Aufgaben ist die Kenntnis extremer Belastungen wichtig, weil diese für die Auslegung von technischen und organisatorischen Maßnahmen zur sicheren Beherrschung von Hochwassergefahren benötigt werden. Um aus Abflussbeobachtungen und weiteren hydrologischen Informationen über das Einzugsgebiet auf extreme Hochwasser zu schließen, gibt es im Prinzip zwei Ansätze: stochastische, die auf Zeitreihen beruhen, und deterministische, die auf Niederschlag-Abfluss-Modellen aufbauen.

Die Kenntnis der Scheitelwerte einiger großer Hochwasserabläufe wird bereits seit langem benutzt, um extreme Zustände abzuschätzen bzw. vorherzusagen. Statistische Auswertungen werden systematisch mit Beginn der regelmäßigen Wasserstandsbeobachtungen, die bei uns bis in das 18. Jahrhundert zurückreichen, durchgeführt. Zur Ermittlung einer Jährlichkeit wird der n-jährliche Scheitelwert aufgefasst als die Summe des mittleren Hochwassers und eines Streuungsmaßes, das um einen Sicherheitsfaktor vergrößert wird. Dieser Faktor wird aus der zugrunde gelegten mathematischen Verteilungsfunktion in Abhängigkeit von der Überschreitungswahrscheinlichkeit des untersuchten Hochwasserereignisses und dem Schiefemaß ge-

wonnen. Anhand von beobachteten Extremwerten einer Region kann er aber auch empirisch abgeschätzt werden.

Da alle Verfahren letztlich in einer Anpassung der empirischen und theoretischen Verteilung münden, liegt die Anwendungsproblematik dieser Verfahren in den Messwertkollektiven. Hierbei sind nicht nur Langzeitanalysen der Pegeldaten erforderlich, sondern der Blick ist auch auf Trends zu richten, die sich infolge von Veränderungen im Einzugsgebiet oder im Niederschlagsverhalten ergeben könnten.

Die folgenden Auswertungen sollen diese Aussagen beispielhaft belegen. Während die Langzeitanalyse (**Abbildung 5.2.1**) einen fallenden Trend aufweist (s. schwarze Linie), ergibt die Berechnung der Zeitreihe der letzten Jahrzehnte (**Abbildung 5.2.2**) eine steigende Tendenz für den Bemessungsabfluss.

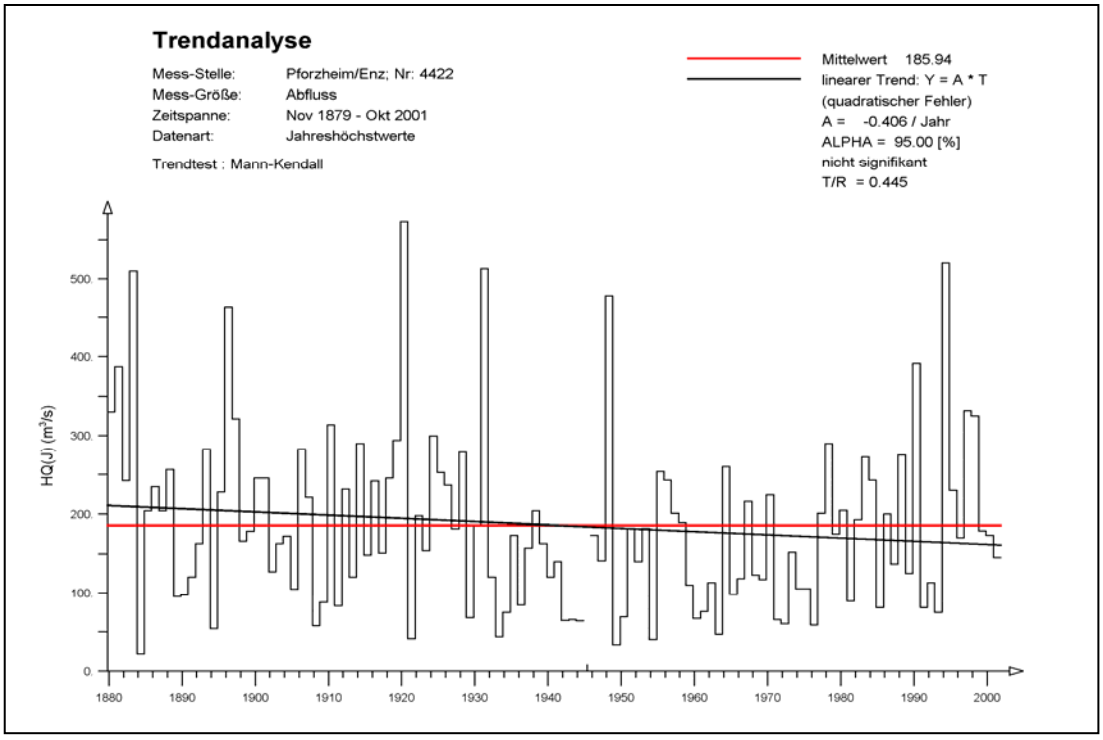



**Abbildung 5.2.1**: Trendanalyse für die Jahresreihe 1879-2001, Pegel Pforzheim/ Enz

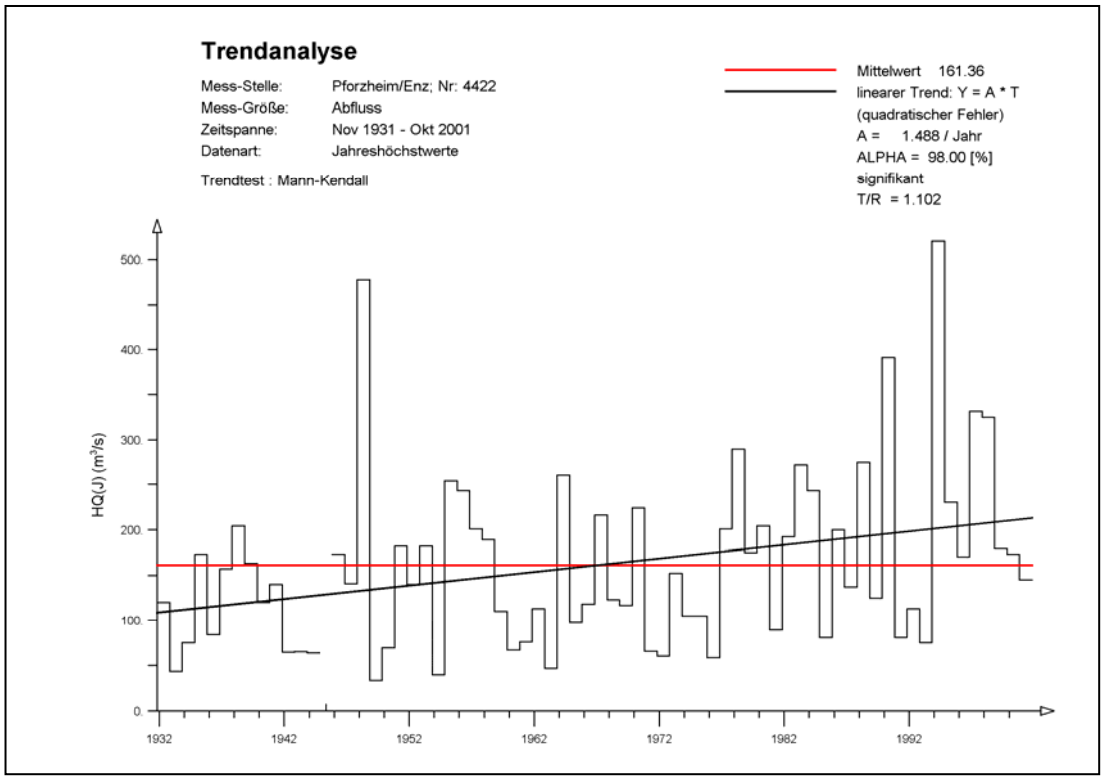



**Abbildung 5.2.2**: Trendanalyse für die Jahresreihe 1931-2001, Pegel Pforzheim/ Enz

Diese Ergebnisse sollen exemplarisch auf die Problematik bei der Auswertung von diesbezüglichen Daten hinweisen. Um diese Bemessungsgrundlagen abzusichern, sind je nach der Größe des Einzugsgebietes dementsprechend aufwändige statistische Analysen erforderlich.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Ableitung von Trends grundsätzlich schwierig ist. Darüber hinaus werden bei der Berechnung eines Hochwasserereignisses die Unsicherheiten der Ergebnisse in der Regel nicht angegeben.

## 5.3 Hochwassersimulationssysteme

Planungsgrundlage für eine wirksame Hochwasservorsorge ist zunächst die möglichst genaue Vorhersage des zu erwartenden Hochwasserablaufes und damit die Gefahrenquellenbeschreibung. Voraussetzung hierfür wiederum ist die Kenntnis der Einzugsgebietscharakteristik zur Simulation des zu erwartenden Abflussgeschehens. Neben den meteorologischen und hydrologischen Daten sind hierbei die flussbaulichen und hydraulischen Gegebenheiten zu erfassen.

In den letzten Jahren wurden Methoden entwickelt, die den Einsatz von räumlich und zeitlich hochaufgelösten Simulationsmodellen als Grundlage der Entscheidungsfindung im Rahmen der Hochwasservorsorge ermöglichen. Hierzu stehen ein- und zweidimensionale mathematische Modelle zur Berechnung der Strömungsparameter (Wasserstände und Fliessgeschwindigkeiten) als Bemessungsgrundlagen für die Hochwasserschutzplanungen zur Verfügung.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, diese Modellentwicklungen für Vorhersagen auch im operationellen Einsatz während des Ablaufes eines Hochwasserereignisses einzusetzen. Bisher liegen die dafür erforderlichen Berechnungen aber nur für ausgewählte Flusssysteme in praxistauglicher, den Anforderungen der Entscheidungsträger angepasster Form vor. Ohne die möglichst genaue Kenntnis der zu erwartenden Entwicklung beim Ablauf eines Hochwasserereignisses, ist jedoch eine effektive Schadensabwehr kaum möglich.

Während beispielsweise der Ablauf der Hochwasserwellen am Oberrhein und deren weitere Entwicklung nach Unterstrom aufgrund der sehr guten Kenntnis der Einzugsgebietscharakteristik und des umfassenden Messnetzes gut vorhergesagt werden kann, waren die Bedingungen an der Elbe beim Ereignis vom August 2002 ungleich ungünstiger, da auch sehr kleine Teileinzugsgebiete davon betroffen waren. Insbesondere für kleinere Einzugsgebiete mit steilen Gewässerläufen mit Wildbachcharakter sind Vorhersagen ohnehin Grenzen gesetzt, da hierbei der Zeitfaktor bis zum Eintreffen einer Hochwasserwelle eine ganz wesentliche Eingangsgröße darstellt. Bei Hochwasserereignissen, die in wenigen Stunden entstehen und das betroffene Gebiet durchlaufen, z.B. Weißeritz/Dresden oder Müglitz/Dohna, kann der Schutz nur vorbeugender Natur sein, d.h., die Schutzmaßnahmen müssen vorher festgelegt und realisiert werden. Sie müssen also greifen, bevor das Ereignis abläuft, weil keine Zeit bleibt, um ad hoc noch einen wirksamen Schutz aufzubauen.

Zur Bewertung, Optimierung und Umsetzung nachhaltiger Schutzkonzepte bedarf es daher Werkzeuge, die es den Entscheidungsträgern ermöglichen, die Entstehung und den Ablauf eines Hochwasserereignisses im Flusslauf mitsamt seinen Auswirkungen in Abhängigkeit der spezifischen Randbedingungen im Einzugsgebiet zu simulieren bzw. zu prognostizieren.

Prinzipiell stehen zur Simulation der das Hochwasserabflussgeschehen bestimmenden hydrologischen und hydraulischen Prozesse eine Vielzahl von Berechnungsverfahren zur Verfügung. Zur Aufbereitung und Visualisierung der notwendigen Datengrundlagen haben Geographische Informationssysteme (GIS) eine weite Verbreitung

gefunden [Oberle u. Nestmann, 2003]. Als Grundlage wasserwirtschaftlicher Planungen werden zum Nachweis der Hochwasserneutralität einer Baumaßnahme, der Wirksamkeit eines Polderbauwerkes oder der Ausweisung von Überschwemmungsflächen computergestützte Hochwassersimulationen durchgeführt. Zielsetzung dabei ist, die Analyse der Hochwassersituation durch den Einsatz wissenschaftlich fundierter Verfahren praxisgerecht zu ermöglichen. Verfahren, die im operativen Einsatz im Hochwasserfall eingesetzt werden können, bieten den Entscheidungsträgern vor Ort optimale Möglichkeiten. Die hierzu erforderlichen Systembausteine sind aus **Abbildung 5.3.1** zu ersehen.

**Abbildung 5.3.1**: Systembausteine für den Einsatz beim Hochwassermanagement

Zur Simulation und Beurteilung der Hochwasserabflüsse werden instationäre Berechnungen mit hydrodynamisch-numerischen Verfahren durchgeführt. Hierbei können je nach der Komplexität der Strömungsverhältnisse sowohl 1-dimensionale als auch 2-dimensionale Berechnungsverfahren zum Einsatz kommen. Eindimensionale (1D) Modelle betrachten die Strömung nur in Hauptfließrichtung und liefern über den Strömungsquerschnitt bzw. über Teile des Querschnittes gemittelte Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten. Für die Untersuchung großer Flussabschnitte bieten sie

sich an, wenn nur die Wasserstände von Interesse sind, da die Rechenzeiten in der Größenordnung von wenigen Minuten liegen und damit sehr kurz sind.

Zweidimensionale tiefengemittelte Verfahren ermöglichen einen detaillierten Einblick in die Strömungsverhältnisse und kommen aufgrund der rasanten Leistungssteigerung der zur Verfügung stehenden Prozessoren seit einigen Jahren immer weiter in das Blickfeld der praxisorientierten Modellanwendung. Der Einsatz eines zweidimensionalen Verfahrens ist dann notwendig, wenn sich die Strömung nicht auf 1D-Verhältnisse reduzieren lässt, oder wenn z.B. detaillierte Kenntnisse der Fließgeschwindigkeiten auf ausgedehnten Vorlandflächen gewonnen werden sollen. Die Berechnungszeiten liegen zwar je nach Größe und Auflösung des Modellgebietes immer noch im Bereich einiger Stunden bis Tage. Die Qualität der Ergebnisse eröffnet aber sehr gute Beurteilungsmöglichkeiten.

Wegen der steigenden Verfügbarkeit hochaufgelöster Informationen zur Geländetopographie und Bewuchssituation über flugzeuggestützte Aufnahmeverfahren, ist die Anwendung 2-dimensionaler Simulationsmethoden immer dann sinnvoll, wenn Informationen über die Fließgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet benötigt werden. Zur optimalen Modellwahl sowie zur Modellgenauigkeit können jedoch keine pauschalen Aussagen getroffen werden. Eine zielführende Auswahl der Modellierungsmethode ist nur durch eine fachlich fundierte Betrachtung der individuellen Rahmenbedingungen möglich und basiert auf folgenden Kriterien:

- Strömungscharakteristik des Untersuchungsgebietes: überwiegend eindimensionale oder mehrdimensionale Strömungsverhältnisse
- Zielgröße: Wasserstand und/oder Fliessgeschwindigkeit und Abfluss
- Gebietsgröße und vorhandene Datengrundlagen zur Topographie.

Durch den Einsatz eines Geographischen Informationssystems (GIS) können durch Verschneidung des Geländemodells mit einem Wasserspiegellängsprofil Überschwemmungsflächen bzw. -grenzen ermittelt und durch Überlagerung digitaler topographischer Karten anschaulich präsentiert werden (vgl. **Abbildung 5.3.2**).

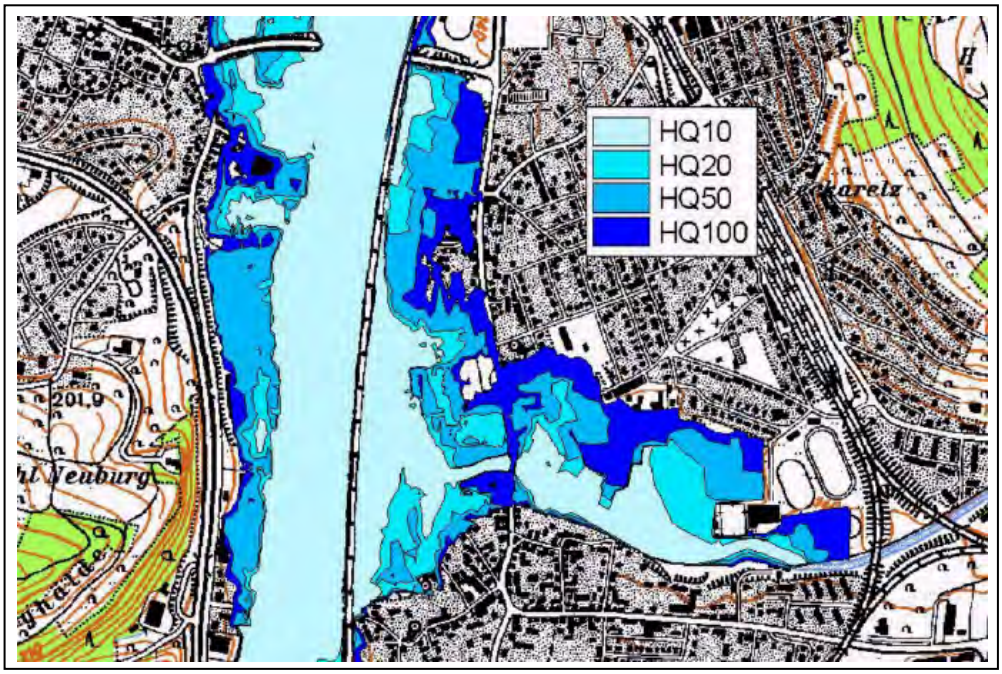



**Abbildung 5.3.2**: Überlagerung der errechneten Überschwemmungsflächen im GIS mit der topographischen Karte [IKONE, 2002]

Neben den topographischen Höheninformationen werden weitere hochwasserrelevante Datensätze, wie z.B. Geschwemmsellinien, abflusswirksame Bereiche, rechtskräftige Überschwemmungsgebiete und Bauwerksinformationen digitalisiert. Verknüpfungen zu Luftbildern verschiedener Hochwasserereignisse ergänzen den Geodatenbestand.

Um aus den berechneten Wasserspiegellängsprofilen Überflutungsflächen zu generieren, wird zunächst ein Raster der Gewässeroberfläche erzeugt. Durch Differenzenbildung zwischen dem Geländeraster und dem Raster der Gewässeroberfläche erhält man ein Differenzenraster. Alle Zellen mit positivem Wert liegen über dem Wasserspiegel, alle negativen Felder sind überstaut (**Abbildung 5.3.3**).

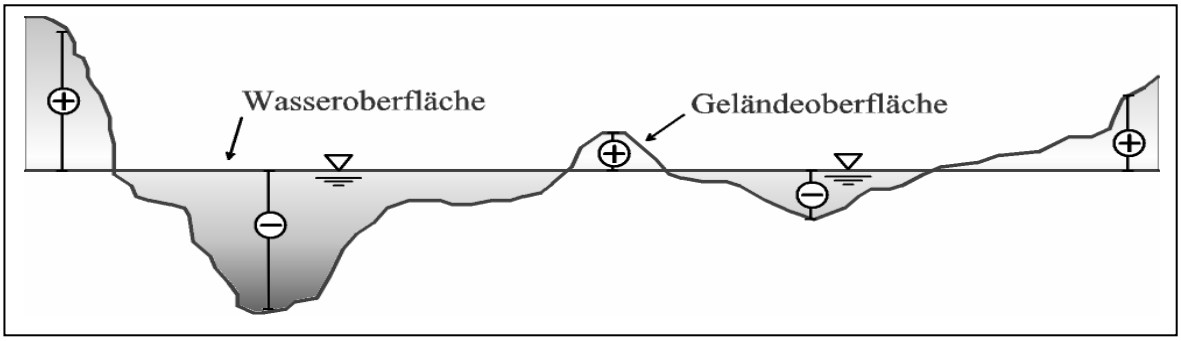



**Abbildung 5.3.3**: Differenzenbildung zwischen dem Raster der Geländeoberfläche und dem Raster einer Wasserspiegellage

Aus dem Differenzenraster eines Abflusszustandes lassen sich über eine Abfolge mehrerer GIS-Funktionalitäten letztlich die Überschwemmungsgrenzen berechnen (siehe **Abbildung 5.3.4**).

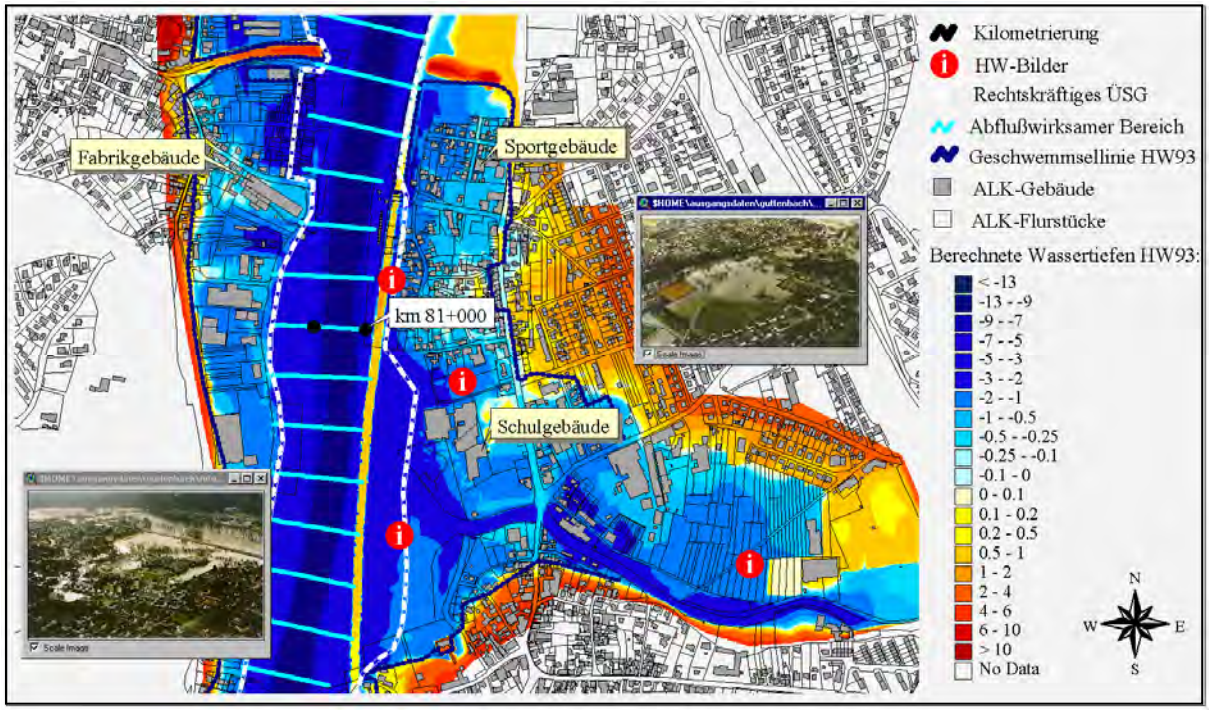



**Abbildung 5.3.4**: Exemplarische Darstellung der Überlagerung hochwasserrelevanter Daten

## 5.4 Erarbeitung von Gefahrenkarten

Gefahrenkarten sind Ergebnisse der Hochwassersimulationen und stellen eine wesentliche Grundlage für die Hochwasservorsorge, den technischen Hochwasserschutz sowie für den operationellen Einsatz entsprechend dem 3-Säulen-Konzept in Abbildung 7.2 dar. Derartige Karten werden am Rhein schon seit Jahren erarbeitet und sind für Nordrhein-Westfalen auf der Internetseite des Landesumweltamtes abrufbar (www.lua.nrw.de). Dort sind flächendeckend für NRW alle Überflutungsflächen für ein $HQ_{100}$ ausgewiesen. Eine Ausnahme bilden die Flächen am Rhein. Hier wurde ein 500-jährliches Hochwasser als Bemessungsgrundlage angesetzt.

Darüber hinaus hat z.B. die Stadt Köln (Amt für Stadtentwässerung) Überflutungskarten für ihr Stadtgebiet für die Pegelstände 11,30 m, 11,90 m und 12,50 m jeweils bezogen auf den Pegel Köln herausgegeben. Derartige Karten bilden eine der wich-

tigsten Grundlagen zur Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes (**Abbildungen 5.4.1** und **5.4.2**).

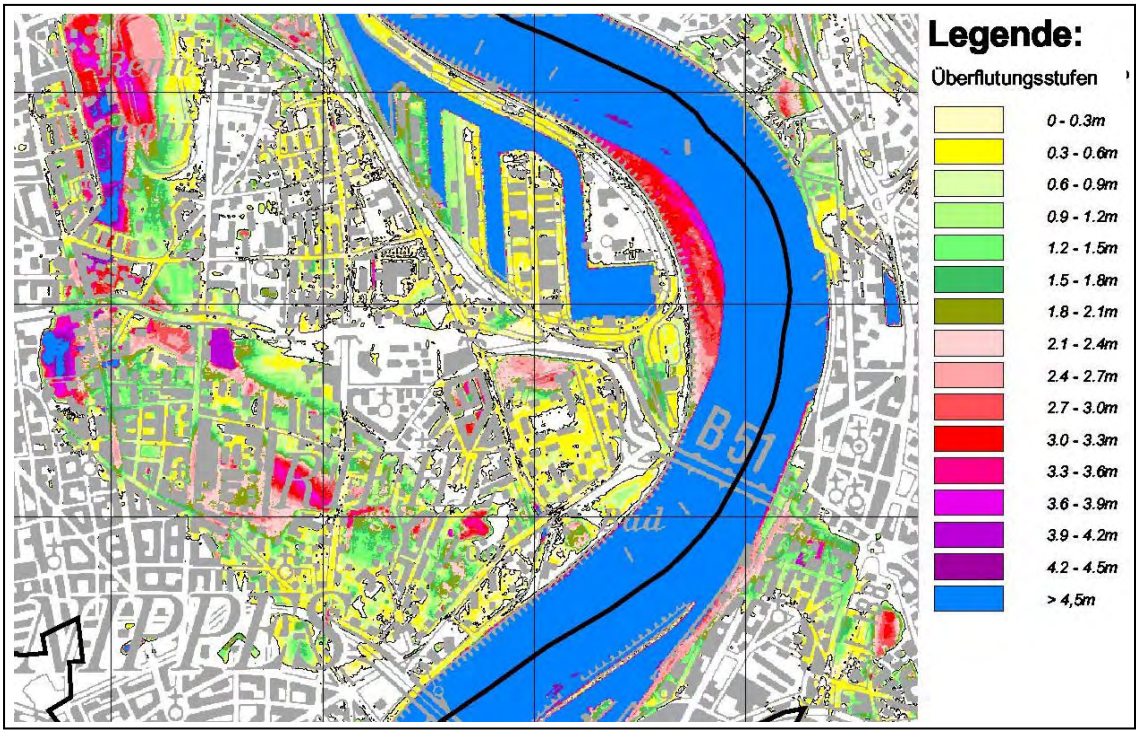



**Abbildung 5.4.1**: Ausschnitt der Überflutungskarte für ein Stadtgebiet in Köln (11,30 m Pegel Köln)

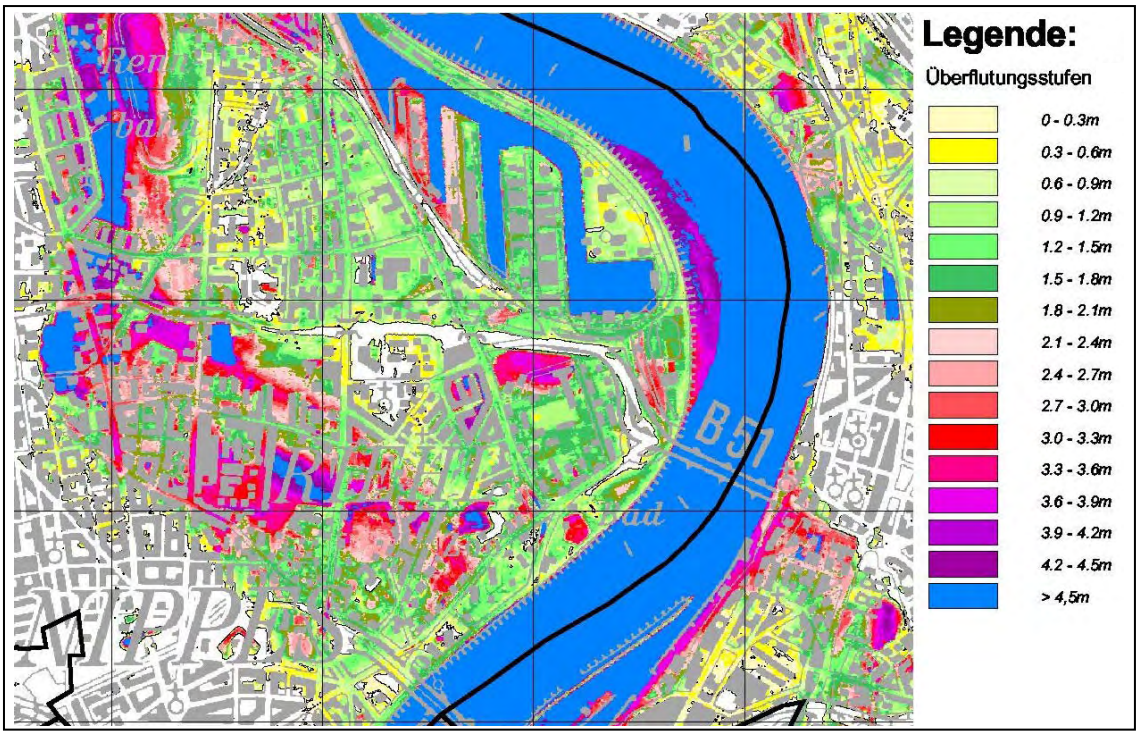



**Abbildung 5.4.2**: Ausschnitt der Überflutungskarte für ein Stadtgebiet in Köln (12,50 m Pegel Köln)

Mit Hilfe der Karten können sich Bürger (z.B. als Bauherr oder Anwohner) sowie ansässige Industrie und Gewerbe bzgl. der Gefahr durch Hochwasser informieren. Sie erhalten die notwendigen Informationen, um ihrerseits Vorsorge bei der Bauplanung, dem Objektschutz sowie der Risikovorsorge mittels Hochwasserversicherung durchführen zu können. Zudem dienen die Gefahrenkarten in Verbindung mit den Diensten der Hochwasservorhersagezentrale als präzise Grundlage zur Ausarbeitung von Alarm- und Einsatzplänen sowie zur Organisation von Einsatzkräften während eines Ereignisses.

Die Gefahrenkarten geben jedoch keine Auskunft über die lokalen Strömungsverhältnisse, so dass eine Gefährdung eines Objektes bzw. einer Anlage durch Treibgut oder Eisgang nicht abgeschätzt werden kann. In Sachsen werden in jüngster Zeit Gefahrenkarten erarbeitet, in denen besonders schutzbedürftige Objekte (z.B. Kraftwerke, Krankenhäuser sowie Betriebsbereiche) markiert sind.

## 5.5 Visualisierung von Hochwasserereignissen am Beispiel des Neckars

Im Folgenden werden die Einsatzmöglichkeiten des Simulationssystems sowie mögliche Inhalte und Darstellungsformen von Gefahren- bzw. Szenarienkarten am Beispiel der Stadt Offenau am Neckar dargelegt. Die Ortslage der Gemeinde Offenau liegt im Neckartal bei Fluss-km 98 (Unterstrom Kocher- und Jagst-Mündung). Aufgrund der topographischen Randbedingungen werden die flussnahen Bebauungen bereits ab $HQ_{10}$ überschwemmt.

Das von den Fachleuten ausgearbeitete Schutzkonzept umfasst die Realisierung eines ca. 2 km langen Dammbauwerkes (Schutzgrad: $HQ_{100}$). Der Schutzdamm wird von vier Dammscharten unterbrochen, die im Hochwasserfall mit mobilen Elementen geschlossen werden sollen. Als Basis der Alarm- und Einsatzplanung wurde in Zusammenarbeit mit der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg ein Vorhersagepegel eingerichtet. Die Abflusskurve des Pegels wurde rechnerisch ermittelt.

Parallel zur technischen Schutzlösung bis $HQ_{100}$ setzt die Gemeinde auf Aufklärung der Bevölkerung, um sie für das verbleibende Restrisiko durch Versagen der Schutzeinrichtung bzw. Dammüberströmung zu sensibilisieren. Hierzu werden detaillierte Hochwassergefahrenkarten veröffentlicht, die gleichzeitig der örtlichen Feuerwehr als

Grundlage ihrer Alarm- und Einsatzplanung im Katastrophenfall dienen sollen. Die Herausforderung beim Kartenentwurf liegt in der Integration aller für diese Zielanwendungen notwendigen Informationen in einer praxisbezogenen übersichtlichen Darstellungsform.

Bei der Auswahl der Inhalte und graphischen Gestaltung ist zu beachten, dass es auch dem „fachfremden“ Bürger mit wenig Erfahrung in der Interpretation einer Kartendarstellung ermöglicht wird, die für ihn wichtigen Informationen zu erhalten. Auch ist zu beachten, dass die Einsatzkräfte die Karten auch in extremen Situationen, z.B. im mobilen Einsatz bei extremer Wetterlage und Dunkelheit, nutzen müssen.

In enger Zusammenarbeit mit der Gemeinde und der Gewässerdirektion wurden folgende Anforderungen an die Karteninhalte bzw. das Kartenformat erarbeitet:

- Ausweisung potenzieller Überschwemmungsflächen mit Angabe der Überflutungstiefen (Kartentyp I) und Auftretenswahrscheinlichkeit[7] $HQ_{10}$-$HQ_{200}$ (Kartentyp II) unter Berücksichtigung ausgewählter Versagens-Szenarien
- Klassifizierung der Überflutungstiefe in 5 Intervallen mit blauer Farbabstufung
- Darstellung der nicht überfluteten Bereiche mit Angabe der Höhendifferenzen zur Wasserspiegellage zur Identifikation geeigneter Standorte für Leitzentrale, Notzelt, Lagerplätze, Bürgerinformation, etc. im Katastrophenfall
- Einbeziehung des Vorhersagepegels der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg als Bezugssystem
- Integration der Überschwemmungsgrenze des Extremhochwassers von 1824 (ermittelt auf Basis historischer Hochwassermarken und des aktuellen DGM) ohne Angabe einer Auftretenswahrscheinlichkeit
- Verweis auf die Scheitelwasserstände abgelaufener HW-Ereignisse im Erinnerungszeitraum der ansässigen Bevölkerung
- Darstellung der Bebauungen und Straßenzüge
- Ausweisung neuralgischer Punkte (Trafostation, Pumpwerke etc.)
- Kartenmaßstab M > 1:5.000 (Flurstücksschärfe)
- Kartenformat DIN A 2 - laminiert (für den mobilen Einsatz geeignet).

[7] Die Auftretenswahrscheinlichkeit bezieht sich auf die Abflussmenge des Neckars, nicht auf die Versagenswahrscheinlichkeit der Anlage

Zur Ermittlung der potenziellen Überflutungsflächen bei Versagen der Schutzeinrichtung wurden die Flächen hinter der Schutzanlage mit den errechneten Wasserständen an der Versagensstelle verschnitten. Diese Vorgehensweise ist aufgrund der vorliegenden topographischen Begebenheiten und des geringen Füllvolumens zulässig.

In den **Abbildungen 5.5.1** und **5.5.2** sind zwei der insgesamt neun Gefahrenkarten als Ergebnis der Bedarfsanalyse exemplarisch dargestellt. Im Kartentyp I sind die Überflutungstiefen der jeweiligen Abfluss-/Versagens-Szenarien in einer auf die wesentlichen Tiefenintervalle reduzierten Klassifizierung abgebildet. Im Kartentyp II sind die Überflutungsflächen bzw. deren Anschlaglinien für $HQ_{10}$ bis $HQ_{200}$ aufgetragen. Um eine Verwechslung mit den Tiefenrastern zu vermeiden, wurde eine andere Farbabstufung gewählt. Der Bezug zu den Wasserständen am Vorhersagepegel wurde graphisch über die Darstellung einer Pegellatte umgesetzt. Zudem sind in der Karte die Anschlaglinie des Hochwassers 1824, Standorte historischer Hochwassermarken und die Lage des Vorhersagepegels eingetragen.

Die Darstellungen ermöglichen auch einem ungeübten Betrachter sowie den Einsatzkräften im Katastrophenfall ohne zusätzliche textliche Erläuterungen die Beantwortung u.a. folgender Fragestellungen:

- Auf welches Szenario bezieht sich die Darstellung? (Pegelwasserstand, Abflussmenge, Jährlichkeit, Versagensstelle)
- In welcher Relation steht das Ereignis zu den vergangenen (bekannten) Hochwässern?
- Muss mit einer Überströmung der Anlage gerechnet werden?
- Welche Bebauungen und Infrastrukturen sind mit welcher Intensität gefährdet?
- An welchen neuralgischen Stellen kann eine Ausbreitung der Überflutung (z.B. durch Sandsackbarrieren) verhindert werden?
- Welche Bereiche sind mit Fahrzeugen erreichbar? Wo ist der Einsatz von Booten erforderlich?
- Welche Flächen liegen deutlich über Wasserspiegelniveau und können z.B. als Lagerplatz für die Güterräumung genutzt werden?

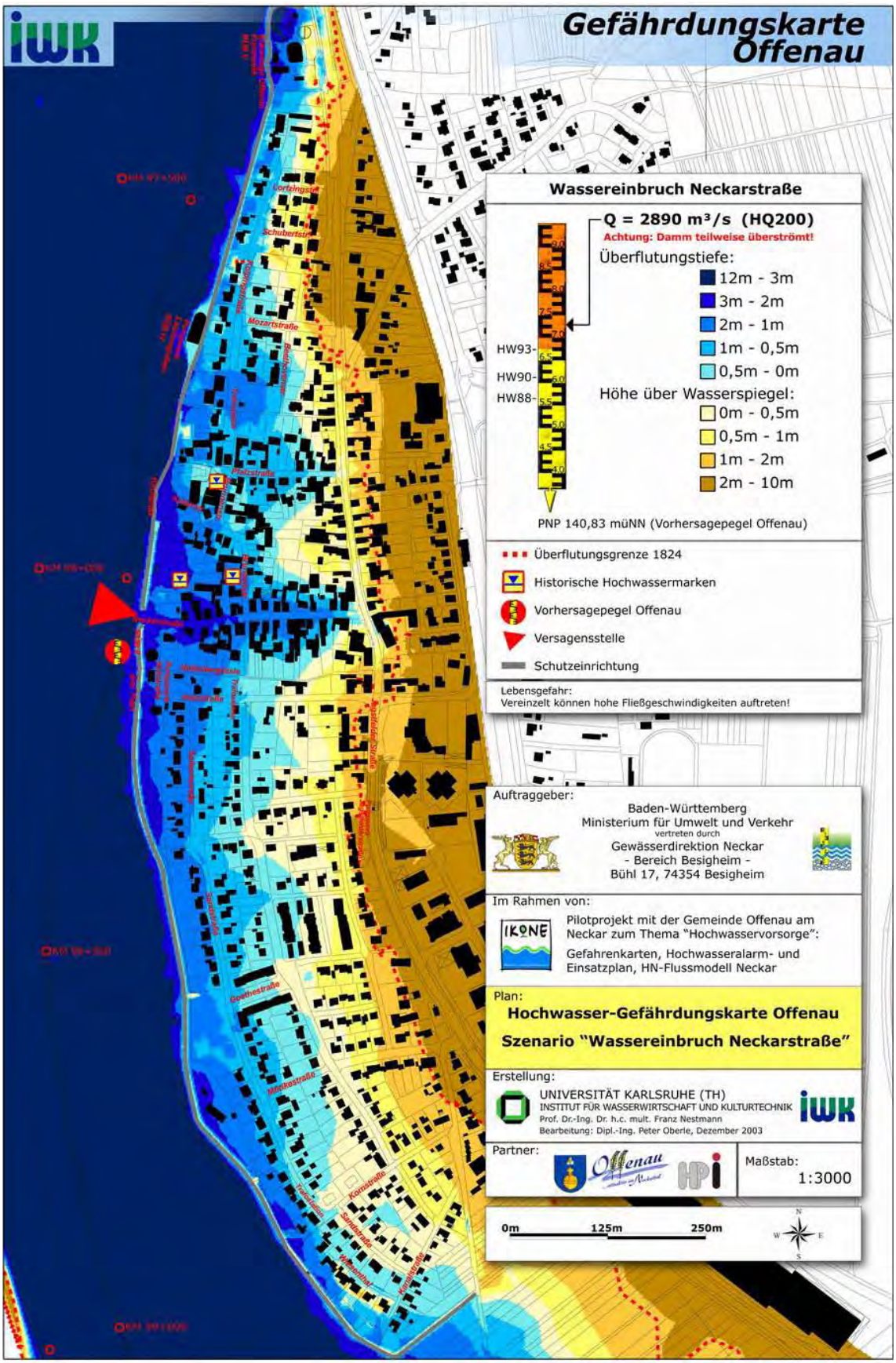



**Abbildung 5.5.1**: Hochwassergefahrenkarten als Ergebnis der Pilotstudie Offenau, Typ I: Überflutungstiefen

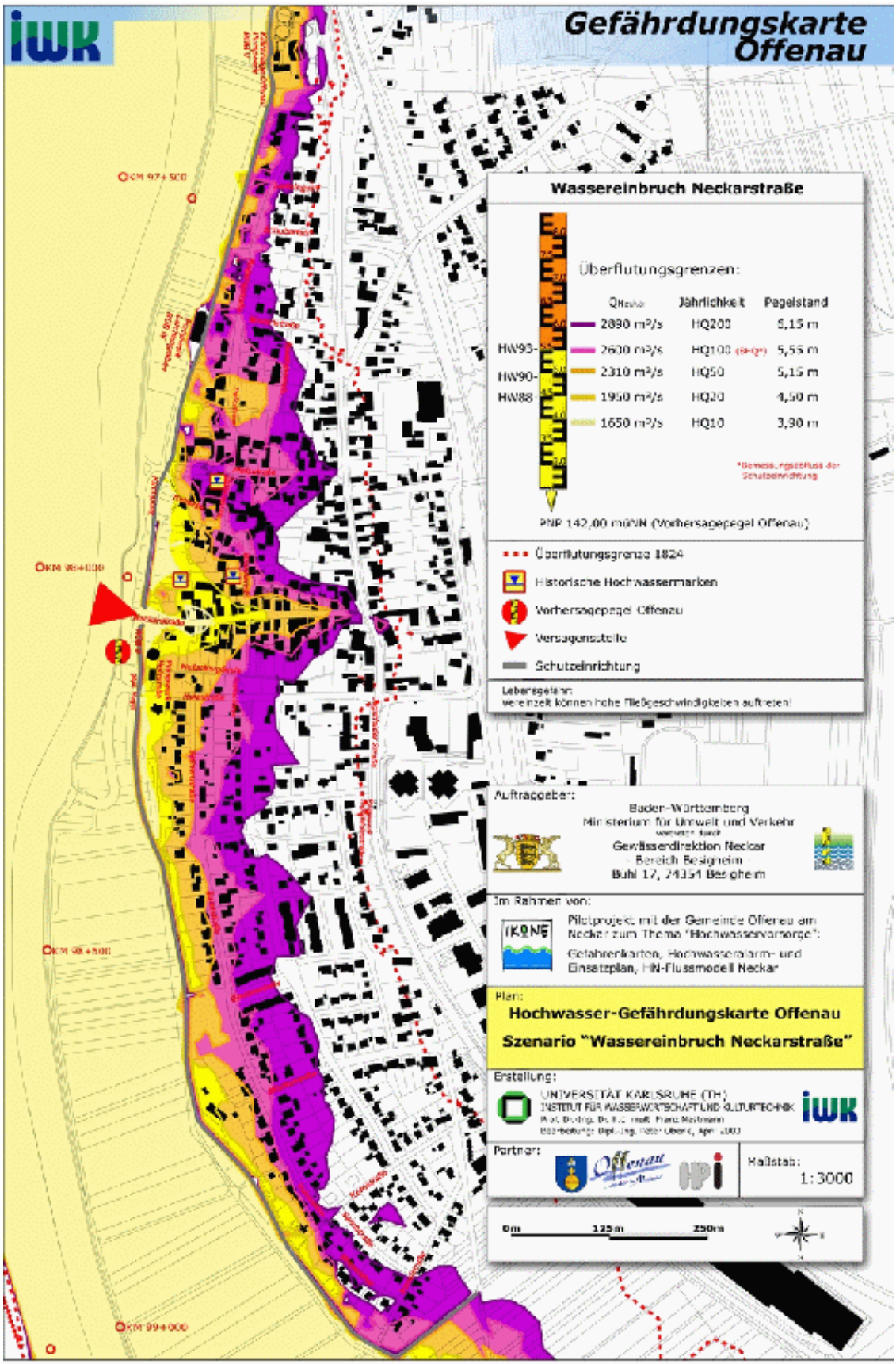



**Abbildung 5.5.2**: Hochwassergefahrenkarten als Ergebnis der Pilotstudie Offenau, Typ II: Überflutungsgrenzen

Die Karten wurden in DIN A 2 im Maßstab M 1:3.000 gedruckt und in laminierter Form an die Gemeinde übergeben. Das kompakte Format und die wasserfeste Druckform ermöglichen die Nutzung im mobilen Einsatz.

## 5.6 Einsatz von dreidimensionalen Visualisierungstechniken

Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass der Einsatz moderner Visualisierungstechniken mit 3D-Animationen die Ergebnisdarstellung nachhaltig unterstützt. Dreidimensionale Ansichten und Animationen bieten eine sehr realitätsnahe Möglichkeit, z.B. die Ausbreitung einer Hochwasserwelle innerhalb einer Ortslage zu visualisieren und somit die vom möglichen Hochwasserereignis ausgehende Gefahr bewusst zu machen (**Abbildung 5.6.1**). Die Möglichkeit des dreidimensionalen Navigierens durch die Geodatenbestände ist zudem auch hilfreich bei der Plausibilisierung der topographischen Fluss-Vorland-Daten und der Bewertung von Interpolationsverfahren.

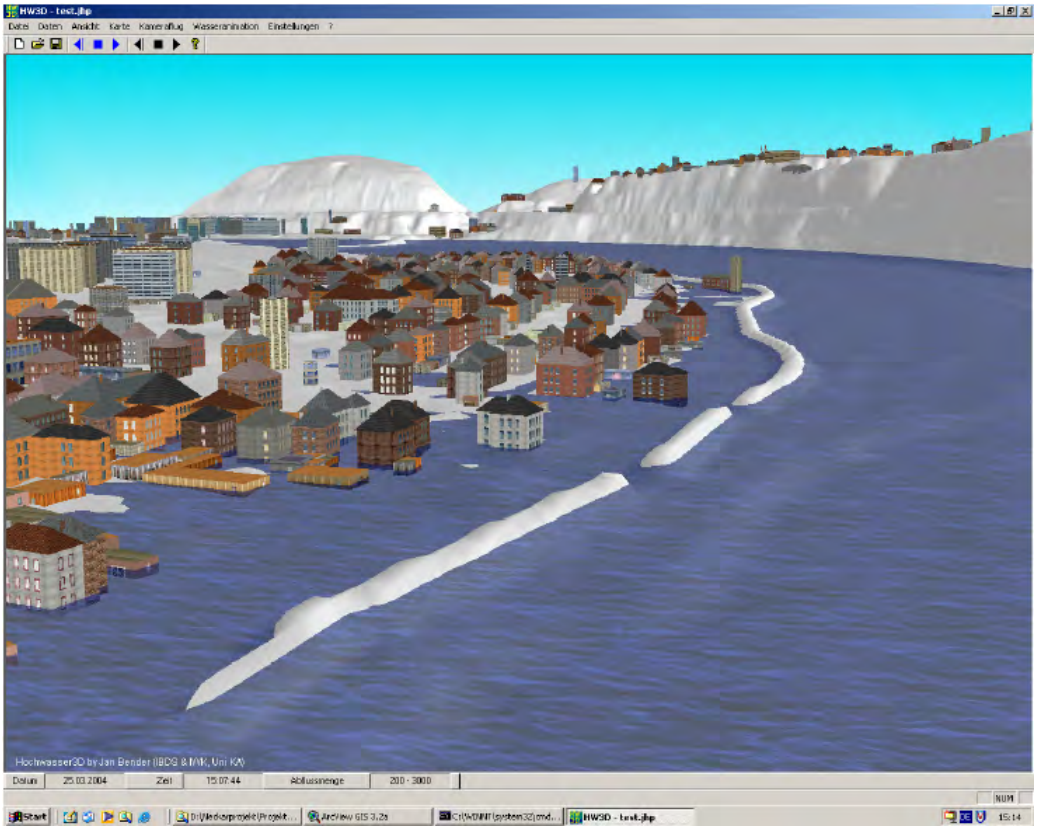


**Abbildung 5.6.1**: Dreidimensionale Ergebnisdarstellung

Da die Bearbeitungs- und Rechenzeiten zur Erstellung einer realitätsnahen Filmsequenz enorm hoch sind und bei größerer Datenmenge bzw. Modellauflösung eine

Echtzeitsimulation nicht möglich ist, wurde vom Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik in Zusammenarbeit mit dem Institut für Betriebs- und Dialogsysteme der Universität Karlsruhe ein neues Visualisierungswerkzeug entwickelt [Bender u. Oberle, 2003].

Dieses ist mit dem GIS-Arbeitsplatz kompatibel und gibt den Anwendern die Möglichkeit einer interaktiven Navigation durch beliebig große Geodatenbestände sowie der Erstellung realitätsnaher Hochwasseranimationen. Aufgrund der enormen Menge an hochaufgelösten Geoinformationen (1x1m-Raster, Texturdaten) werden dynamische Reduktionsalgorithmen eingesetzt („Continuous Level Of Detail") und ein sogenannter „Kachelmanager" entwickelt, der alle Eingangsdaten in gleichgroße quadratische Kacheln unterteilt, die während der Navigation sukzessive geladen werden.

Somit kann das Ansteigen und Abschwellen eines Hochwassers simuliert werden [DKKV, 2003b]. Zur Analyse der gefährdeten Objekte werden automatisch Gebäudemodelle generiert und lagegenau auf die Geländeoberfläche übertragen. Diese der Realität sehr nahe kommenden Filmsequenzen eröffnen neue Einblicke in den Ablauf eines Hochwassers (**Abbildung 5.6.2**).

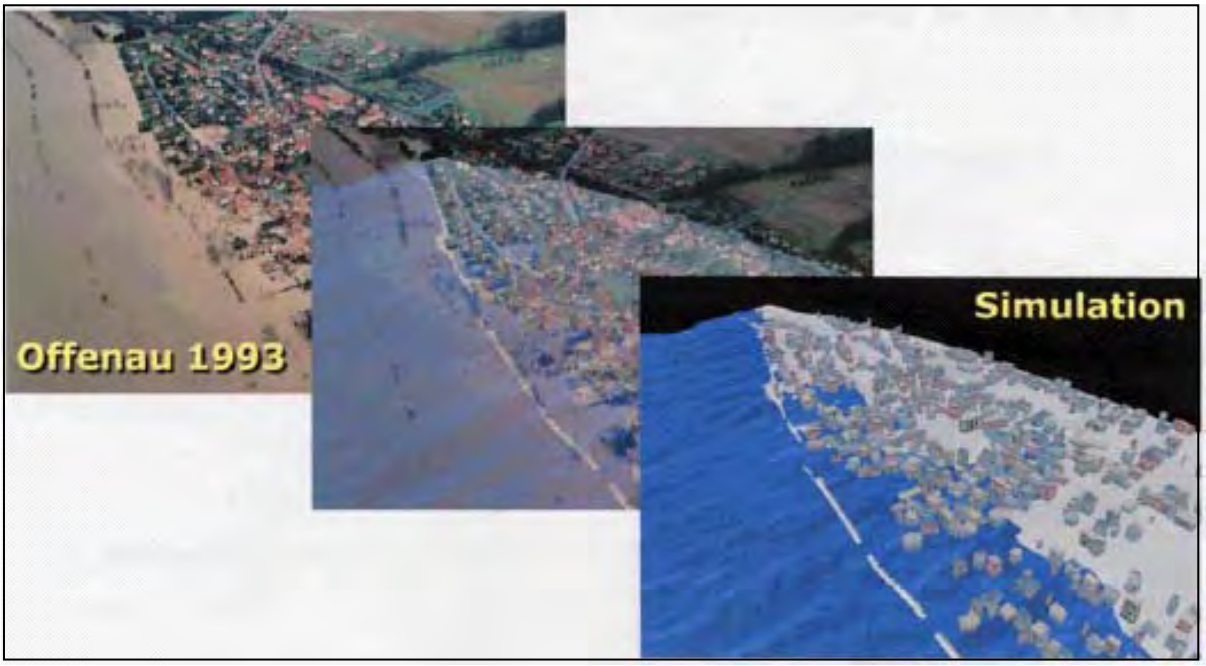



**Abbildung 5.6.2**: Interaktive 3D-Echtzeit-Navigation durch Geodatenbestände zur Hochwassersimulation

Die Berechnung der lokalen Strömungsgeschwindigkeiten ist theoretisch möglich. Allerdings sind hierfür leistungsstarke Rechner erforderlich. Zudem ist der Programmieraufwand erheblich und kann daher allenfalls nur für ein räumlich sehr begrenztes Gebiet vorgenommen werden. Bei der Betrachtung von Einzelgewerken ist zu beachten, in wie weit das Strömungsbild schon durch vorgelagerte Gebäude oder Anlagen verändert wurde. Es ist somit grundsätzlich zu unterscheiden, ob eine Anlage in einem „freien Feld“ oder zwischen einer Bebauung errichtet wurde. Mit zunehmender Komplexität der Geländeformation einschließlich der Bebauung stößt die Berechnung lokaler Strömungsgeschwindigkeiten an ihre Grenzen. Denkbar sind Untersuchungen mit maßstabsgetreuen Modellen im Versuchskanal, die jedoch sehr aufwendig und kostenintensiv sind und daher nur im Rahmen von Forschungsvorhaben durchgeführt werden können.

## 5.7 Vorhersage und Vorwarnzeit

Neben den Gefahrenkarten sind für Behörden, Anwohner und Anlagenbetreiber im Ereignisfall vor allem die Vorhersage der Wasserstände und die Vorwarnzeit von entscheidender Bedeutung. Eine zuverlässige Vorhersage setzt allerdings neben einem ganz erheblichen Messaufwand zur Erfassung der Niederschlags- und Abflussdaten auch die genaue Kenntnis der geometrischen Daten des Abflussquerschnittes voraus, um den Wellenablauf im Flussbett zuverlässig berechnen zu können.

Für große Einzugsgebiete, wie den Rhein oder die Elbe, ist je nach Lage am Fluss eine große Vorlaufzeit gegeben. In diesen Fällen kann auch mit relativ einfachen Maßnahmen Schutz gewährleistet werden, wie z.B. durch temporäres Verschließen von Öffnungen, durch die Wasser in Gebäude eindringen könnte, Aufbau mobiler Schutzsysteme, Abtransport gefährdeter Güter sowie durch Bereitstellung von Geräten. Aufbauend auf den Vorhersagen für den Pegel Maxau am Rhein und in Verbindung mit den Vorhersagen für die Zuflüsse, war beim Hochwasser vom Januar 1995 schon mehrere Tage vorher klar, auf welch hohen Anstieg der Welle man sich in Köln und am Niederrhein einrichten konnte.

Die Möglichkeiten der Vorwarnung hängen jedoch ganz entscheidend von der Lage am Gewässer ab. Das Hochwasser, das im August 2002 u.a. in Dohna an der Müglitz eintrat und zu großen Schäden führte, verdeutlicht beispielhaft die Problematik einer Vorhersage praktisch ohne Vorwarnzeit (**Abbildung 5.7.1**).

**Abbildung 5.7.1**: Hochwasserschäden in Dohna an der Müglitz (August 2002)

Von der Quelle bis zum Mündung überwindet die Müglitz auf einer Länge von 49 km eine Höhendifferenz von über 500 Metern. Die hieraus resultierende hohe Abflussgeschwindigkeit hat zur Folge, dass die Vorwarnzeit in Dohna maximal nur ca. 2 Stunden beträgt. Aufgrund der direkten zeitlichen Koppelung von Niederschlag und Abfluss konnten nur wenige vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden.

Eine möglichst große Vorwarnzeit kann in den Regionen des Osterzgebirges deshalb nur über 2 Wege erreicht werden:

- Bau von Regenrückhaltebecken (Beispiel: Lauensteinbecken)
- möglichst präzise Wettervorhersage

In einem Kooperationsvorhaben der Länder Bayern und Baden-Württemberg sowie des Deutschen Wetterdienstes sind schon Modelle im Einsatz, die eine Simulation des Wasserhaushalts in Abhängigkeit regionaler Klimaszenarien ermöglichen (www.kliwa.de) [Hennegriff et. al., 2006]. Die Zusammenführung von meteorologischen Informationen mit der Berechnung von Hochwasserwellen bewirkt eine wesentliche Verlängerung der Vorwarnzeit.

Aus den Erfahrungen im August 2002 hat Sachsen mittlerweile ein Frühwarnsystem im Internet eingerichtet (www.umwelt.sachsen.de), mit dessen Hilfe sich die Betroffenen sehr viel schneller informieren können. Einen Einblick über den Umfang des

Messnetzes und den Datenpool der Hochwasservorhersage in Sachsen vermittelt **Abbildung 5.7.2**.

Durch Anwahl der einzelnen Messpunkte werden die aktuellen Daten (Pegel, Durchfluss in m³/s und Tendenzen) für den Benutzer angezeigt. Niederschlagsmengen werden nicht angegeben. Auch werden andere Informationen aus anderen Ländern nicht berücksichtigt. Nordrhein-Westfalen ist an das zentrale Hochwassermeldezentrum in Mainz angeschlossen und kann unter der Internetadresse „www.hochwasser-rlp.de“ abgefragt werden.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die frühzeitige Warnung vor Unwettern mittlerweile durch jeden Wettervorhersagedienst erfolgt. Hierzu zählen neben Angaben zu Windgeschwindigkeiten auch erwartete Niederschlagsmengen. Letztere lassen Rückschlüsse auf mögliche Hochwassergefahren zu (Zusammenführung von meteorologischen Informationen mit der Berechnung von Hochwasserwellen). Man kann davon ausgehen, dass mit möglicherweise wenigen Ausnahmen, z.B. im Erzgebrige, von einer ausreichenden Vorwarnzeit ausgegangen werden kann.

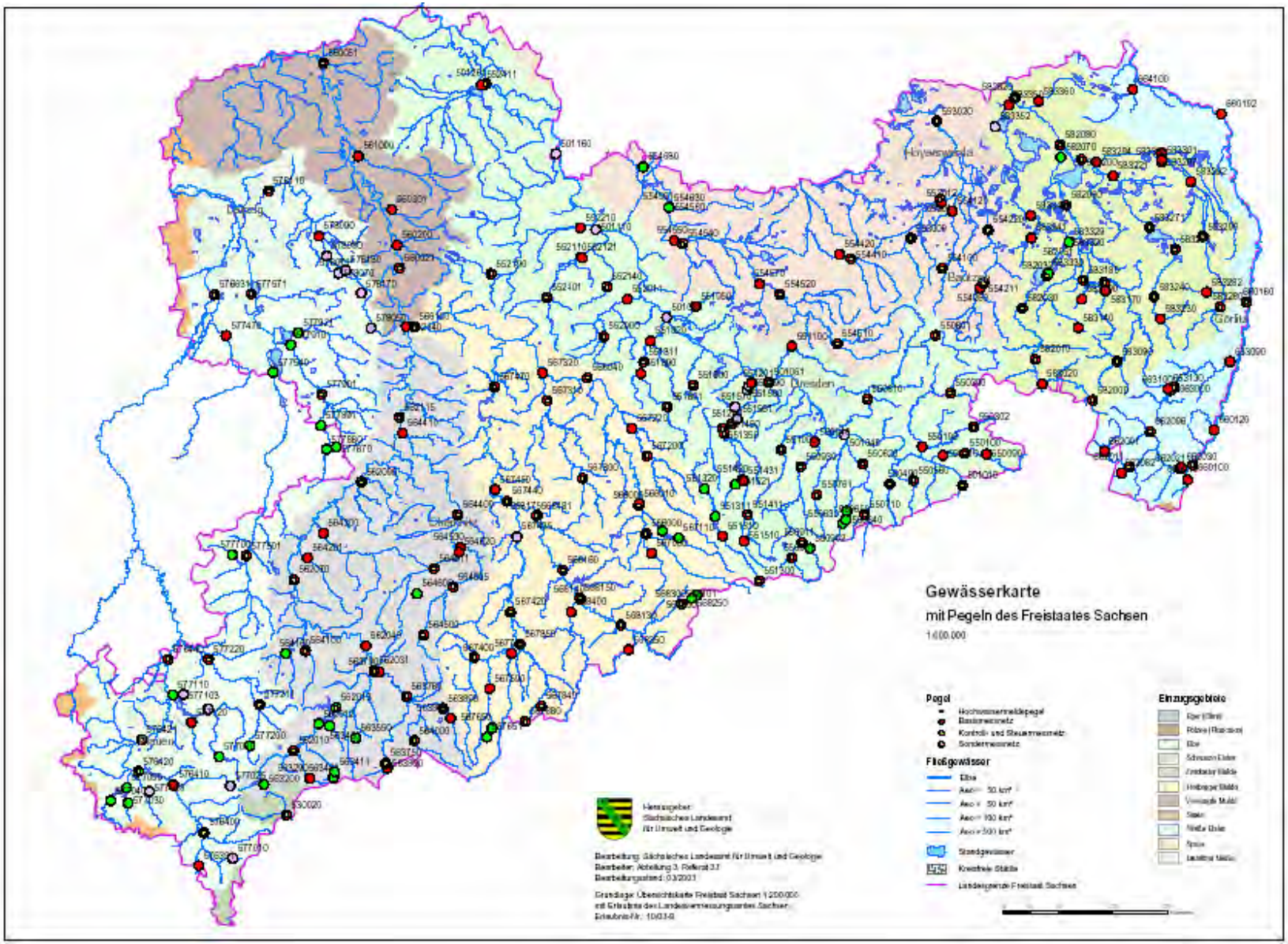



**Abbildung 5.7.2**: Hochwasserinformations- und -managementsystem am Landesamt für Umwelt und Geologie in Sachsen

## 5.8 Zusammenfassung und Vorschläge zum Hochwassermanagement

Das 3-Säulenkonzept aus Hochwasservorsorge, technischem Schutz und operationellen Einsatz gilt als allgemeingültiges Prinzip eines umfassenden Hochwassermanagements. Bislang wurde dieses Prinzip eher aus wasserbaulicher Sicht sowie aus dem Blickwinkel der zuständigen Behörden konkretisiert. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde das 3-Säulenprinzip aus der betrieblichen Sicht erläutert. Hierbei wurde ein Schwerpunkt auf die Darstellung der Verantwortungsbereiche sowie auf das Zusammenspiel von behördlichen und betrieblichen Aufgaben gelegt, weil hier, wie die Untersuchungsergebnisse in den Modellregionen sowie die Auswertung zahlreicher Informationsschriften ergeben haben, keine systematische Darstellung bislang vorgelegt wurde.

Neben einer Kurzerläuterung wasserbaulicher Grundbegriffe wurde die Erarbeitung von Gefahrenkarten herausgearbeitet, weil diese ein zentrales Instrument für ein wirksames Hochwassermanagement sind. Darüber hinaus wurde der Stand der Technik von Simulationsverfahren im Überblick erläutert

Die bislang erarbeiteten Gefahrenkarten dienen dazu, Überschwemmungsgebiete und überschwemmungsgefährdete Gebiete in Abhängigkeit vom jeweils angesetzten Bemessungshochwasser zu kennzeichnen. Darüber hinaus können die lokalen Wassertiefen in verstärkt untersuchten Gebieten, wie z.B. für die Stadt Köln, abgelesen werden. Strömungsgeschwindigkeiten, um die Gefahren durch Treibgut oder Eisgang besser beurteilen zu können, sind in der Regel nicht angegeben, weil der für die bebauten Bereiche erforderliche Rechenaufwand extrem hoch ist. Hier besteht ein Forschungsbedarf, um die Aussagekraft von Gefahrenkarten vor allem für Gebirgstäler noch relevant zu verbessern. In jedem Fall sollten in den Gefahrenkarten besonders schutzbedürftige Anlagen gekennzeichnet werden, wie dies in Sachsen und teilweise auch in NRW schon praktiziert wird.

# 6 Sachstandsanalyse der Hochwassergefährdung von Betriebsbereichen und VAwS-Anlagen

## 6.1 Auswahl von Modellregionen

Die Auswahl von geeigneten Modellregionen diente dem Zweck, detaillierte Informationen über ein begrenztes Gebiet zu sammeln, auszuwerten und daraus verallgemeinerbare Schlussfolgerungen abzuleiten. Für das Forschungsvorhaben ist es von großer Bedeutung, Defizite auf der Basis von Praxiserfahrungen zu ermitteln und auszuwerten. Im Rahmen der Kooperationsvereinbarung zwischen dem UBA und den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen wurde festgelegt, dass die Modellregionen auch in den genannten Bundesländern ausgewählt werden sollten. Bei der Auswahl waren als Kriterien insbesondere zu berücksichtigen:

- Das Vorhandensein von eingedeichten und nicht eingedeichten Gewässern,
- das Vorhandensein von Betriebsbereichen und Anlagen in ggf. hochwassergefährdeten Bereichen,
- das Vorhandensein von Bundeswasserstraßen sowie Gewässer mit geringerem Abfluss,
- die administrative Struktur,
- die zu erwartende Kooperativität der Betreiber.

Grundsätzlich waren daher für alle Gefahrenquellen zwei wesentliche Kriterien von Bedeutung:

1. Gebiete mit besonderem Gefährdungspotenzial durch extreme Umwelteinwirkungen (gebietsbezogenes Kriterium)
2. Anwesenheit von Betriebsbereichen, Anlagen nach der Störfall-Verordnung, VAwS-Anlagen oder Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern (anlagenbezogenes Kriterium)

Für die Gefahrenquelle Hochwasser wurden beim gebietsbezogenen Ansatz z.B. Regionen ausgewählt, die im Einzugsbereich von Flüssen liegen und damit besonderen Hochwassergefährdungen ausgesetzt sind. Zur Eingrenzung näher zu untersuchender Gebiete, die besonders hochwassergefährdet sind, wurden über ein Raster die Anlagen ermittelt, von denen eine Freisetzung von gefährlichen Stoffen unter den besonderen Bedingungen extremer Umwelteinwirkung ausgehen könnte.

## 6.2 Vorgehensweise und Arbeitsprogramm

Bezogen auf die Gefahrenquelle Hochwasser waren laut Aufgabenstellung im Zuge der Sachstandsanalyse für die Modellregionen folgende Fragen zu klären:

- Wie und mit welchem Ergebnis wurden Gebiete, die - insbesondere beim Versagen von Deichen - von einer Überschwemmung betroffen wurden oder betroffen werden könnten, ermittelt?
- Wie und mit welchem Ergebnis wurden hierbei auch Gebiete, die ggf. durch Gewässer mit geringerem Abfluss gefährdet werden könnten, berücksichtigt?
- Inwiefern wurde hierbei auch das Versagen von Deichen, Dämmen und sonstigen Bauwerken zum Stauen von Wasser unterstellt?
- Wie und mit welchem Ergebnis wurden Betriebsbereiche nach StörfallV, Anlagen nach § 19g WHG - insbesondere zum Umgang mit Heizölen und Kraftstoffen -, Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern sowie relevante Daten hierzu, ermittelt und berücksichtigt?
- Wie und mit welchem Ergebnis wurden mögliche Schäden an und Gefahren durch Betriebsbereiche nach StörfallV, Anlagen nach § 19g WHG – insbesondere zum Umgang mit Heizölen und Kraftstoffen –, Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern ermittelt?
- Welche Kriterien wurden hierbei jeweils angelegt?
- Welche strukturellen Defizite liegen ggf. vor?

Der anlagenbezogene Ansatz erforderte eine an den jeweiligen Einzelstandorten orientierte Analyse und Bewertung der Hochwassergefährdung. Viele Aussagen sind daher räumlich nicht übertragbar bzw. zu differenzieren. Die Gefährdungsbetrachtung basiert auf den im Frühjahr 2004 durchgeführten Gesprächen mit Anlagenbetreibern und Behördenvertretern, Besichtigungen und Untersuchungen vor Ort und der Auswertung von verfügbaren Unterlagen. Der vorliegende Bericht dokumentiert den Stand im Mai 2004 und lässt keine Schlüsse auf spätere Situationen vor Ort zu, da auch nach 2004 noch Maßnahmen aufgrund des Hochwassers 2002 umgesetzt wurden.

Eine quantitativ umfassende Gefährdungsanalyse sollte im Vorhaben nicht erfolgen, da dies einen über das Vorhaben hinaus gehenden spezifischen Aufwand erfordern würde (z.B. Wasserspiegelberechnungen) und zudem dem Aufgabenbereich der zuständigen Dienststellen entspricht. Vielmehr war mit den beschaffbaren Informatio-

nen zu arbeiten. Es soll auch vermieden werden, dass mit dem Forschungsbericht eine mit den zuständigen Fachbehörden konkurrierende fachliche Beurteilung abgegeben wird.

Für eine auf behördlichen Angaben gestützte Standortbeurteilung sind folgende Ausgangsdaten, soweit diese erarbeitet wurden und verfügbar sind, erforderlich:

- Karten der rechtsverbindlichen Überschwemmungsgebiete
- Karten überschwemmungsgefährdeter Gebiete (z.B. hinter Deichen)
- regionale Gefahren- und Risikokarten (soweit vorhanden)

Fragen zu örtlichen Schadenspotenzialen und zu den erforderlichen technischen und organisatorischen Maßnahmen, wie z.B.

- Wie viele relevante Anlagen sind überschwemmungsgefährdet?
- Ist eine Anlage anfällig gegenüber Hochwassereinwirkungen?
- Wenn ja, welche Parameter sind maßgebend (Einstauhöhe, Fließgeschwindigkeit, Treibgut etc.)?
- Kann ein Störfall oder Stoffaustritt auch ohne eine direkte Überflutung eintreten (z.B. fehlende Sicherheit oder Verfügbarkeit von Kanal-/Abwassersystemen oder der Energieversorgung)?
- Welche Maßnahmen sind notwendig, um Störfälle im Betriebsbereich bei Hochwasser auszuschließen (z.B. Planung, Alarm- und Gefahrenabwehr und Abstimmung mit der externen Gefahrenabwehr)?
- Welche Pflichten obliegen dem Betreiber und den zuständigen Behörden, damit externe und interne Maßnahmen effektiv zusammenwirken?

Nicht nur wegen der Beteiligung der Länder Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Sachsen-Anhalt an diesem Forschungsvorhaben wurde der Schwerpunkt der Untersuchungen auf den Niederrhein und das Elbeeinzugsgebiet gelegt, sondern vor allem auch wegen ihrer Bedeutung aufgrund der Hochwasserereignisse 1993 und 1995 am Rhein und 2002 im Elbeeinzugsgebiet. In den folgenden Abschnitten werden daher beide Regionen bzgl.

- der Hochwassergefährdung,
- der daher überschwemmungsgefährdeten Gebiete sowie
- der auf diesen Flächen vorhandenen Bebauung, insbesondere durch industrielle Produktionsstätten

näher betrachtet. Auf dieser Gesamtbetrachtung aufbauend wurden anschließend einzelne Modellregionen innerhalb beider Regionen ausgewählt, um die Detailuntersuchungen unter den zuvor genannten Gesichtspunkten durchzuführen.

## 6.3 Ursachen von Hochwasserereignissen am Rhein und im Einzugsgebiet der Elbe

Verantwortlich für Hochwasserereignisse sind immer starke bis extreme Niederschlagsereignisse, ggf. in Verbindung mit Schneeschmelze. Diese Niederschlagsmengen fließen insbesondere bei wassergesättigten oder gefrorenen Böden sehr schnell in das Gewässersystem und können dieses überlasten. Anthropogene Eingriffe in ein Gewässer bzw. Gewässersystem können entstehende Hochwässer verstärken, aber auch reduzieren. In den folgenden Abschnitten werden die Ursachen für Hochwasserereignisse am Rhein sowie im Einzugsgebiet der Elbe (Elbe mit ihren Nebenflüssen aus dem Erzgebirge) näher erläutert. Dazu werden

- die Flussgebietscharakteristiken sowie
- die Ursachen von Hochwasserereignissen

näher beleuchtet. Es wird gezeigt, dass die Hochwasserereignisse im Einzugsgebiet der Elbe im Vergleich zu den Ereignissen am Rhein wegen der Unterschiedlichkeit bzgl. der topografischen Verhältnisse, des Einzugsgebietes, der Wetterkonstellationen sowie der Einflussnahme des Menschen auf den natürlichen Lauf der Gewässer verschiedene Ursachen haben.

## 6.3.1 Flussgebietscharakteristik des Rheins

Der Rhein ist mit 1.320 km Länge einer der bedeutendsten Flüsse Mitteleuropas. Sein Einzugsgebiet von ca. 185.000 km² verteilt sich auf 9 Staaten. Das Einzugsgebiet ist in **Abbildung 6.3.1.1** dargestellt.

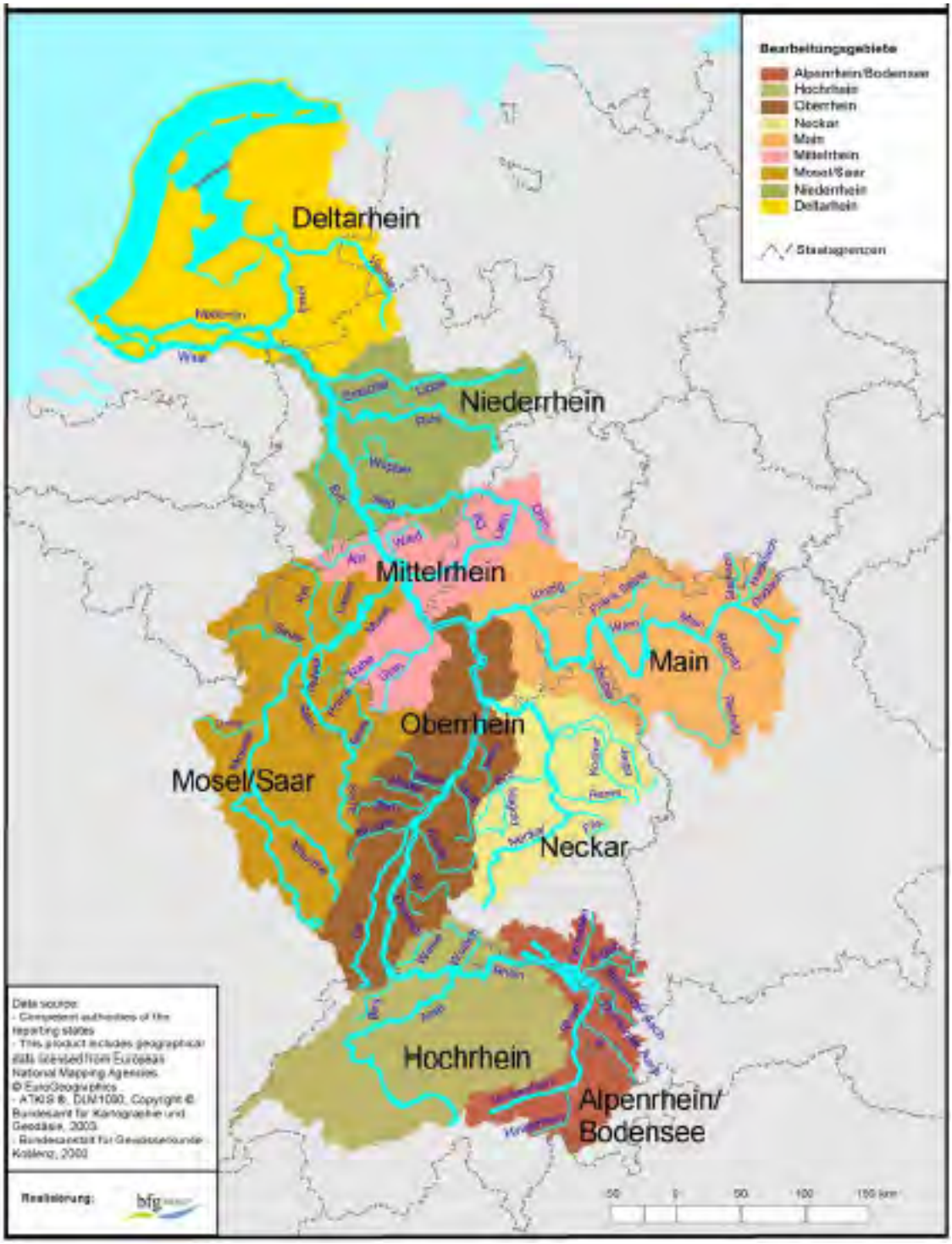



**Abbildung 6.3.1.1**: Einzugsgebiet des Rheins [Koordinierungskomitee Rhein, 2004]

Sein Quellgebiet liegt in den Schweizer Alpen. Von dort fließt der Alpenrhein in den Bodensee, der mit einer Wasserfläche von 539 km² und einem Volumen von 48,1 Mio. km³ eine große Bedeutung für die Speicherung der alpinen Niederschläge und Schmelzwässer sowie für die gleichmäßige Wasserführung des Rheins hat. Vom Ausfluss aus dem Bodensee fließt er westwärts durch die alpine Vorlandsenke bis Basel (Hochrhein). Ab Basel fließt er nach Norden (Oberrhein) durch eine 35 km breite Senke zwischen Vogesen und Pfälzer Bergland auf der linksrheinischen und dem Schwarzwald und Odenwald auf der rechtsrheinischen Seite.

Hochrhein und Oberrhein sind heute von Schaffhausen bis Iffezheim durch eine fast durchgehende Kette von Staustufen geprägt, die einerseits der Schifffahrt, andererseits der Erzeugung elektrischer Energie dienen. Insbesondere der südliche Oberrhein von Basel bis Breisach wurde durch Hochwasserschutzmaßnahmen und durch den Bau des Rheinseitenkanals stark verändert. Der nördliche Oberrhein, der unterhalb des Mainzuflusses endet, ist heute teilweise noch durch Mäanderbildung geprägt.

Ab Bingen durchfließt der Rhein das rheinische Schiefergebirge (Mittelrhein). Bei Koblenz mündet die Mosel in den Rhein. In einem ausgeprägten Erosionstal fließt er bis Bonn. Der Mittelrhein ist geprägt durch ein steiniges, felsiges Flussbett. In diesem Abschnitt weist der Rhein eine erhöhte Fliessgeschwindigkeit und aufgrund der Lage in der Erosionsrinne ein sehr geringes Überschwemmungsgebiet auf. Bei Bonn verlässt der Strom als Niederrhein das Gebirge. Der Niederrhein selbst ist landschaftlich durch eine Flussaue mit zahlreichen Inselterrassen geprägt. Vor allem im Bereich der großen Städte am Niederrhein hat der Rhein starke Einengungen erfahren.

Bei Bimmen/Lobith beginnt der niederländische Rheinabschnitt (Deltarhein), der von Bimmen/Lobith bis Nimwegen als Bovenrijn weiterverläuft und sich später in die drei Hauptarme Waal, Nederrijn und IJssel aufteilt. Diese bilden ein deutliches Delta mit einzelnen, untereinander mehrfach in Verbindung stehenden Stromrinnen, das sich in Richtung Nordsee immer mehr ausdehnt. Die Hauptarme werden von Deichen begleitet. Außerdem gibt es vielfach Buhnen in den Flussarmen. Die Mündungsbereiche in die Nordsee sind durch wasserbauliche Eingriffe stark verändert; dies gilt insbesondere für die Deltawerke, die zum Schutz vor Sturmfluten und für die Gewährleistung der Süßwasserversorgung errichtet wurden. Das IJsselmeer, die frühere Zuidersee, ist in einen Süßwassersee umgewandelt worden. Das sich anschließende Wattenmeer erfüllt wichtige Funktionen im Küstenökosystem.

Der Rhein ist einer der am intensivsten genutzten Flüsse der Erde. In seinem Einzugsgebiet leben mehr als 70 Mio. Menschen. Im Rheineinzugsgebiet findet mehr als die Hälfte der Weltchemieproduktion statt. Auf dem Rhein und seinen teilweise schiffbaren Nebenflüssen Mosel, Saar, Main und Neckar werden ca. 160 Mio. t Güter pro Jahr transportiert. Die Abflusswerte im langjährigen Mittel (MQ) liegen in Konstanz bei 338 m³/s, in Karlsruhe-Maxau bei 1.060 m³/s und in Rees nahe der niederländischen Grenze bei 2.270 m³/s.

### 6.3.2 Ursachen der Hochwasserereignisse am Rhein

Die Rheinhochwasser 1993 und 1995 entstanden in den Wintermonaten durch aus atlantischen, von Nord-Westen heranziehenden Tiefs [Engel, 2003]. Die Hauptursache für beide Hochwasserereignisse waren besonders starke oder lang anhaltende Niederschläge. Darüber hinaus spielten auch andere Faktoren eine wichtige Rolle, wie z.B. das Niederschlagsmuster, also die örtliche und zeitliche Verteilung der Niederschläge. Auch die Wetterlagen vor dem eigentlichen Regenereignis waren von Bedeutung. Durch Regenereignisse vor dem eigentlichen Hochwasser war der Boden schon weitgehend gesättigt, so dass er kaum mehr zusätzliches Wasser aufnehmen konnte [Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2003].

Die Höhe der Abflusswelle am Niederrhein hängt entscheidend von der Wasserführung des Rheins und seiner Nebenflüsse ab. Sie ist am höchsten, wenn die Abflussspitzen dieser Nebenflüsse zeitlich mit dem Hochwasser des Rheins zusammenfallen [IKSR, 2002]. Deshalb sind die Hochwassergefahren am Niederrhein besonders groß. Am Oberlauf des Rheins und mit den Zuflüssen von Neckar, Main, Mosel und Lahn entscheidet sich letztlich, wie hoch der Pegel in NRW steigt.

Die Hochwassergefahr in Nordrhein-Westfalen wird durch den Staustufenausbau am Oberrhein und die dortigen Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes entscheidend mit geprägt. Ziele der Oberrheinregulierung waren neben einem guten Hochwasserschutzgrad das Erreichen einer gewissen Eintiefung des Flussbettes, um eine Absenkung des Grundwasserspiegels und somit die Gewinnung von Neuland zu ermöglichen sowie eine Festlegung des Grenzverlaufes zu Frankreich. Erreicht wurden diese Ziele durch ein begradigtes, einheitliches Flussbett, das für einen Abfluss von ca. 2.000 m³/s bemessen wurde und die Errichtung von Hochwasserschutzdämmen, die zum Teil weit vom Fluss entfernt angelegt wurden, um die Flächen bis zu den Hochwasserschutzdämmen als natürliche Überflutungs- und Rückhalteräume

zu erhalten. Mit diesen Maßnahmen konnte ein Schutzgrad erreicht werden, der bis zu einem Hochwasserereignis, das im statistischen Mittel gesehen einmal in 200 Jahren zu erwarten ist, ausreichend war ($HQ_{200}$).

Zwischen 1928 und 1959 wurden die vier Staustufen des Rheinseitenkanals, Grand Canal d´Alsace, fertiggestellt. Beim weiteren Ausbau wurde diese Bauvariante aufgrund ihrer Nachteile für die Landeskultur aufgegeben und im Bereich zwischen Breisach und Straßburg für die nächsten vier Staustufen die sogenannte Schlingenlösung gewählt. Da sich nach dem Ausbau bis Straßburg unterhalb der Staustufe Straßburg starke Sohlerosionen einstellten, die zu gravierenden Folgen für die Landeskultur und die Schifffahrt geführt hätten, wurde beschlossen, die Staustufen Gambsheim und Iffezheim zu errichten, die im Flussbett gebaut wurden.

Durch den Bau dieser Staustufen wurden große Auwaldbereiche und Überflutungsflächen vom Flussregime abgeschnitten und stehen somit nicht mehr als Überflutungsflächen zur Verfügung. **Abbildung 6.3.2.1** zeigt den auf sein früheres Mittelwasserbett eingeengten Rhein im Bereich von Greffern (Stauhaltung Iffezheim). Die Auwälder, die früheren Überflutungsflächen, wurden vom Flussregime abgetrennt (vgl. **Abbildung 6.3.2.2**).

**Abbildung 6.3.2.1**: Kanalisierter Rhein bei Greffern, Staustufe Iffezheim

**Abbildung 6.3.2.2**: Abtrennung der Auwälder beim Oberrheinausbau, Staustufe Iffezheim

Durch den Oberrheinausbau wurde im Bereich der Stauhaltungen zwar ein sehr großer Hochwasserschutz erreicht, weil dort aber insgesamt etwa 60 % der ehemaligen Überflutungsflächen nicht mehr als natürliche Retentionsräume zur Verfügung stehen, sind die Konsequenzen für die Unterlieger schwerwiegend. Als Folge des Verlustes der Überflutungsflächen hat sich der Ablauf der Hochwasserwellen wesentlich verändert. Der Ausbau führte zu einer starken Abflussbeschleunigung und einer deutlichen Erhöhung der Hochwasserspitzen.

Mit Abschluss der letzen Baumaßnahmen am Oberrhein im Jahre 1977 treten infolge der Abflussverschärfung jetzt die Hochwasserereignisse viel häufiger auf, als dies vorher der Fall war, was am Pegel Köln deutlich ablesbar ist (**Tabelle 6.3.2.1**).

Vor allem nach den kurz aufeinander folgenden Jahrhunderthochwassern von 1993 und 1995 sahen die Anliegerstaaten Handlungsbedarf. Damals wurde das Hochwasser als grenzüberschreitende Gefährdung erkannt und der "Aktionsplan Hochwasser" von der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) auf den Weg gebracht. Dieser Plan soll bis 2020 umgesetzt sein. Gesamtkosten für alle "Anrheiner": 12,3 Milliarden Euro.

**Tabelle 6.3.2.1**: Pegelstände in Köln

| **Jahr** | **höchster Pegelstand** (Meter) | |
|---|---|---|
| **1374** | **10,35** | Erster überlieferter Hochwasserstand in Köln |
| **1784** | **13,55** | Das höchste jemals in Köln gemessene Hochwasser. In Köln und Mühlheim starben 63 Menschen in den Fluten. |
| **1926** | **10,69** | In diesem Jahr regnete es im Januar fünf mal so viel wie im Durchschnitt. Das Ereignis ging als Jahrhunderthochwasser in die Geschichte ein. |
| **1948** | **10,41** | Die Reste der zerbombten Brücken behinderten damals den Abfluss des Reinwassers. |
| **1983** | **9,96** | Eines der seltenen Hochwasser im Sommer, die nur ca. alle 290 Jahre zu erwarten sind. |
| **1993** | **10,63** | Jahrhunderthochwasser zur Weihnachtszeit. Nicht die Schneeschmelze, sondern Regenrekorde im Monat Dezember führten zu diesem Hochwasserrekord. |
| **1995** | **10,69** | Jahrhunderthochwasser im Januar. Anhaltende Regenfälle und die beginnende Schneeschmelze in den Mittelgebirgen in den ersten Tagen des neuen Jahres ließen den Rhein auf die Rekordhöhe des 20. Jahrhunderts steigen. |
| **1998** | **9,49** | Hochwasser Anfang November aufgrund von ausgiebigen Regenfällen in Süd- und Südwestdeutschland. |
| **2001** | **9,38** | Hochwasser im März. Der Grund: Tauwetter in den Alpen und Mittelgebirgen und ausgiebige Regenfälle. |
| **2002** | **8,56** | Hochwasser Ende Februar wegen ausgiebiger Regenfälle. |

Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes wurde dort von der Politik der hohen Deiche abgegangen und auf vorbeugenden Hochwasserschutz gesetzt, der ein Bündel von Maßnahmen enthält. Hierzu zählt neben technischen Maßnahmen, wie Deichsanierung und Deichrückverlegungen, auch die Hochwasservorsorge. Bei einer betroffenen Fläche am Niederrhein von 1.366 km², in denen das Wasser auf 916 km² mehr als 2 m hoch stehen würde, kommt der Ausarbeitung von Hochwasseraktionsplänen und der Erstellung von Hochwassergefahrenkarten eine wichtige Rolle zu.

Ziel ist, Extremhochwasserspitzen, nicht nur in Köln, sondern in allen am Rhein liegenden Städten, langfristig bis 2020 um 70 cm zu senken. Dazu sollen entlang des gesamten Rheins Überschwemmungsflächen geschaffen und Deiche zurück verlegt werden. Der Aktionsplan sieht hierfür eine Fläche von 160 Quadratkilometer vor.

Der Wasserrückhalt fängt aber schon früher, im Rheineinzugsgebiet an. In die Renaturierung der Nebenflüsse des Rheins sollen 8,4 Milliarden Euro, also über 2/3 der für den Aktionsplan insgesamt veranschlagten Kosten fließen. Denn je länger das

Wasser im Einzugsbereich gehalten werden kann, desto geringer sind die Hochwasserspitzen im unteren Lauf des Flusses.

Am Oberlauf des Rheins und mit den Zuflüssen von Neckar, Main, Mosel und Lahn entscheidet sich letztlich, wie hoch der Pegel in NRW steigt. Daher sind die Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz und auch Frankreich in die Pflicht genommen. Allein Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Frankreich sollen für 260 Millionen Kubikmeter Wasser neuen Rückhalteraum schaffen. Dazu bleiben den Wasserbauern drei Möglichkeiten:

- Der Bau von Kulturwehren, die ab einem bestimmten Pegel größere Wassermengen zurückhalten, die dann später kontrolliert abgelassen werden können.
- Der Bau von Poldern - das sind von einem Deich umschlossene Rückhalteräume, die ebenfalls gezielt geflutet und abgelassen werden können.
- Die Rückverlegung von Deichen erfordert die Aufgabe von Flächen in Ufernähe. Weil sich hier jedoch oft Gewerbegebiete angesiedelt haben oder eine intensive Landwirtschaft betrieben wird, ist die Suche nach mehr Überschwemmungsflächen mit großen finanziellen und politischen Schwierigkeiten verbunden.

### 6.3.3 Flussgebietscharakteristik der Elbe

Die Elbe stellt sowohl mit einer Gesamtlänge von ca. 1.091 km als auch aufgrund ihrer Einzugsgebietsgröße (148.268 $km^2$) nach der Donau und dem Rhein den drittgrößten Fluss Mitteleuropas dar. Der mittlere Abfluss beträgt 877 $m^3/s$. Die Elbe entspringt als Zusammenfluss zahlreicher Quellen an der tschechisch-polnischen Grenze im Riesengebirge in einer Höhe von 1.384 m. Lediglich auf einer Fließstrecke von 153,2 km bleibt der Strom wasserbaulich ungeregelt. Nahe Pardubice folgt die erste von insgesamt 24 Stauanlagen auf tschechischem Gebiet. Ab Strekov beginnt ein Abschnitt von 626,3 km, auf dem das Abflussgeschehen des Flusses nicht direkt, d.h. durch Stauanlagen vom Menschen beeinflusst wird. An dem Stauwehr bei Geesthacht unterliegt die Elbe für die verbleibende Strecke bis zur Mündung dem Tideeinfluss. Entlang ihrer über 1.000 km langen Fließstrecke münden zahlreiche Nebengewässer ein, wobei die größten Einzugsgebiete die der Moldau (28.090 $km^2$), Havel (24.096 $km^2$), Saale (24.079 $km^2$), Mulde (7.400 $km^2$), Schwarze Elster (5.541

km$^2$) und der Eger/Ohre (5.164 km$^2$) sind (IKSE 1995b). Das gesamte Einzugsgebiet der Elbe ist in **Abbildung 6.3.3.1** dargestellt [Landesumweltamt Brandenburg, 2002].

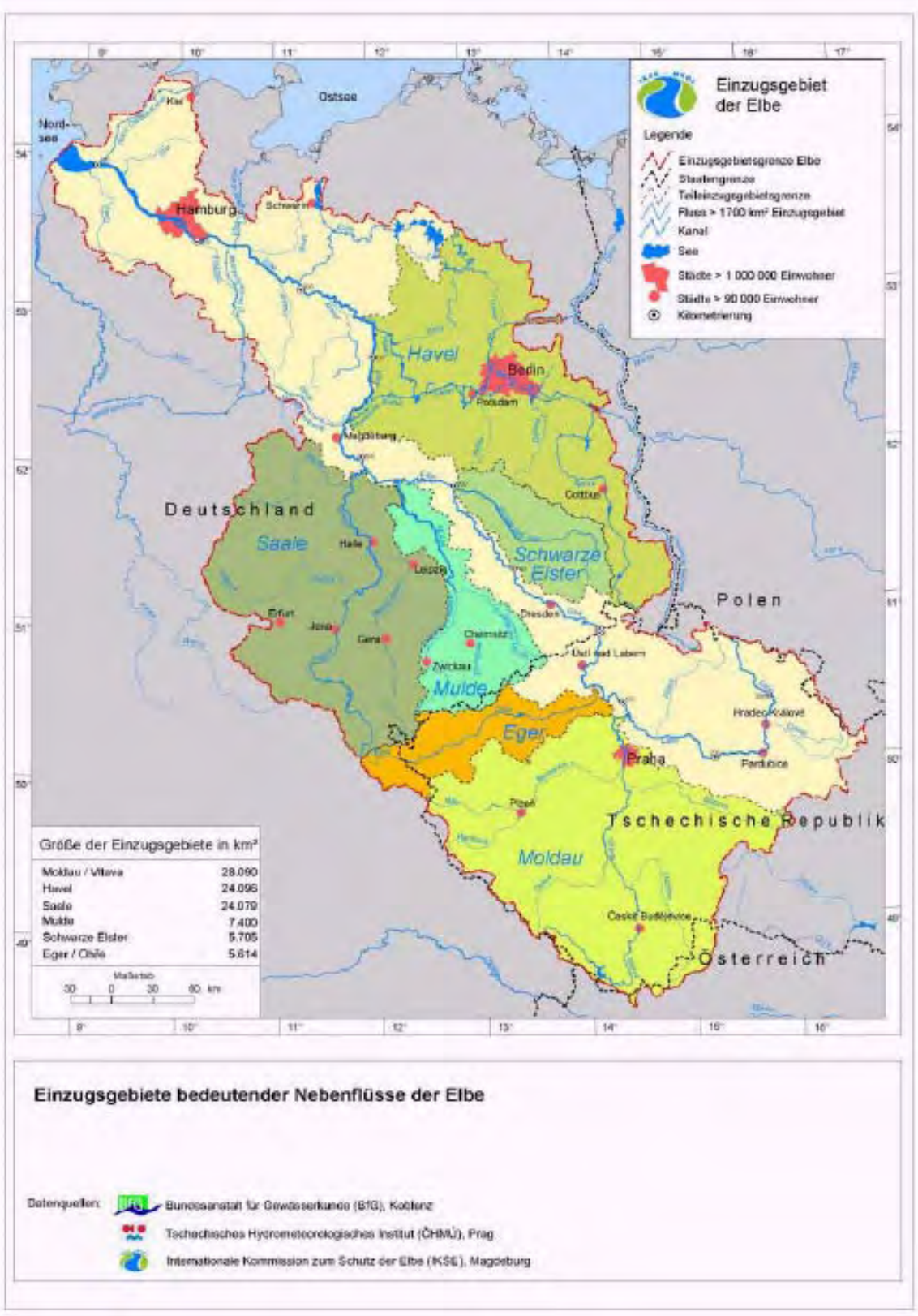



**Abbildung 6.3.3.1**: Einzugsgebiet der Elbe mit ihren wichtigsten Zuflüssen

Der Bereich der mittleren Elbe – von Riesa bis zum Wehr Geesthacht – ist charakterisiert durch das geringe Gefälle von im Mittel 17 cm/km. Dies lässt den Fluss im flachen Gelände stark ausschwingen. Oberhalb der Stadt Schönebeck zweigt der heutige Elbeumflutkanal ab und mündet erst wieder unterhalb von Magdeburg bei der Gemeinde Lostau in die Elbe. Bis zum 10. Jahrhundert bildete dieser Umflutkanal den eigentlichen Elbelauf. Heute werden lediglich bei Hochwasser ca. 20 % der Hochwassermengen der Elbe durch das Öffnen des Pretziener Wehres in den Umflutkanal abgeleitet.

Die Hochwasserereignisse an der Elbe entstehen im großen Einzugsgebiet in Tschechien. Sie kündigen sich mehrere Tage an und betreffen einen relativ klar definierten, jedoch von großen Schadenspotenzialen geprägten Talbereich. Besonders problematisch für eine gesicherte Beurteilung der Hochwassergefährdung entlang der sächsischen Elbe ist allerdings, dass der Pegelstand 2002 in Dresden nicht nur alle historischen Höchstmarken übertraf, sondern als solcher nach wie vor viele Fragen bezüglich der Ursachen aufwirft.

Bei diesem Ereignis überlagerten sich natürliche und anthropogene Aspekte in komplexer Weise, wie z.B.

- eine ungünstige Vorbelastung der Wasseraufnahmekapazität des Einzugsgebiets mit einem voraus laufenden Moldauhochwasser auf hundertjährlichem Niveau (Sättigung der Böden und Talsperrenfüllung),
- sehr extreme Niederschlagssummen beim Hauptereignis,
- die Überlagerung der Zuflüsse,
- Probleme in der Vorhersage durch die große Zahl ausgefallener Messstationen sowie über die Jahrzehnte deutlich veränderten Verhältnisse im Flussbett (z.B. Vorlandauflandungen und Bauten im Überschwemmungsgebiet im Stadtgebiet Dresden).

### 6.3.4 Flussgebietscharakteristiken der Nebenflüsse aus dem Erzgebirge

Der östliche Teil des Erzgebirges ist nicht so hoch wie der westliche Teil. Nur einzelne Erhebungen erreichen mehr als 800 m Höhe; etwa der Geisingberg in der Nähe von Altenberg (824 m) oder der Kahleberg (905 m) als höchster Berg auf der sächsischen Seite des Osterzgebirges. Die leicht nach Norden abflachenden Hoch-

flächen sind von wenigen großen Wasserläufen zerschnitten. Die von ihnen ausgehende Zerschneidung der Hochflächen durch kleinere Gewässer beschränkt sich auf einen schmalen Saum beiderseits der Täler. Dadurch treten breite Hochflächen mit flachen Dellen und Mulden auf, steile Hänge finden sich lediglich an den Flanken der größeren Täler. Überragt wird dieser Teil des Erzgebirges von einzelnen Bergen, die sich zwischen Müglitz und Roter Weißeritz erstrecken.

Im Westerzgebirge treten im Unterschied dazu prägnantere Erhebungen auf. Sowohl der Fichtelberg (1.214 m) als auch der ihm vorgelagerte Auersberg (1.018 m) weisen Höhen von mehr als 1.000 m auf. Von den bis zu 300 m tiefen Tälern der Zwickauer Mulde, der Freiberger Mulde, der Zschopau und deren Zuflüsse zieht sich die Talstruktur tief in die zwischen diesen größeren Gewässern gelegenen Hochflächen ein.

Bis auf Elbe und Neiße entspringen alle sächsischen Flüsse dem Mittelgebirgsraum im Süden Sachsens. Ihre Quellen befinden sich nördlich der Hauptwasserscheiden des Vogtlandes, des Elstergebirges, des Erzgebirges, des Oberlausitzer Berglandes und des Zittauer Gebirges. Die Fließrichtung der Flüsse und größeren Bäche werden durch die allgemeine Abdachung der Landoberfläche vorgeschrieben. Sie streben dem nördlichen Tiefland zu und sind mehr oder weniger parallel angeordnet.

Das gesamte Erzgebirge gehört dem Einzugsgebiet der Elbe an. Die Nordabdachung wird durch die Zwickauer Mulde, die Freiberger Mulde, die Zschopau, die Flöha, die Rote und die Wilde Weißeritz, die Müglitz und die Gottleuba sowie die ihnen zufließenden Bäche entwässert. Länge und Einzugsgebiet dieser Fließgewässer sind in **Tabelle 6.3.4.1** zusammengefasst [v. Kirchbach, 2002]:

**Tabelle 6.3.4.1**: Übersicht ausgewählter Fließgewässer im Freistaat Sachsen

| **Gewässername** | **Flusslänge (km)** | **Einzugsgebiet ($km^2$)** |
|---|---|---|
| Zwickauer Mulde | 166,0 | 2.352 |
| Freiberger Mulde | 124,0 | 2.981 |
| Zschopau | 128,0 | |
| Flöha | 78,0 | 799 |
| Rote Weißeritz | 35,0 | 152 |
| Wilde Weißeritz | 48,6 | 162 |
| Vereinigte Weißeritz | 5,5 | 45 |
| Müglitz | 48,9 | 214 |
| Gottleuba | 33,9 | 252 |

Die vom westlichen und mittleren Teil des südlichen Steilabfalls des Erzgebirges herabkommenden Gewässer münden auf tschechischer Seite in die Ohre, die vom östlichen Teil kommenden in die Bilína. All diese Gewässer werden wiederum unmittelbar oder mittelbar von der Elbe aufgenommen. Die Nebenflüsse Weiße Elster, Mulde, Spree und Schwarze Elster münden erst außerhalb Sachsens in die Elbe. Lediglich der äußerste Südosten der Oberlausitz wird nicht zur Elbe hin entwässert; diese Gewässer gehören zum Einzugsgebiet der Oder.

Maßgebliche Flussgebiete, die Wasser aus dem Erzgebirge aufnehmen, sind Elbe, Weiße Elster, Mulde, Weißeritz, Lockwitzbach, Müglitz und Gottleuba. Im Gegensatz zu den in der nordöstlichen Ebene fließenden Wasserläufen, die eine verhältnismäßig geringe Fließgeschwindigkeit aufweisen, erreichen die aus dem Erzgebirge zufließenden Wasserläufe durch ihr starkes Gefälle eine wesentlich höhere Fließgeschwindigkeit. Die großen Städte am Fuße des Erzgebirges weisen Höhenlagen von nur 111 m in Dresden, von 310 m in Chemnitz und von 300 m in Zwickau auf. Der zum Kamm des Erzgebirges bestehende Höhenunterschied wird auf Entfernungen von meist weniger als 50 km zurückgelegt, was zu einer hohen Fließgeschwindigkeit der Gewässer führt, die sich in Hochwassersituationen noch erheblich verstärkt. Das hydrographische Bild Ostsachsens wird neben dem Elbstrom von Neiße, Spree, Schöps, Pulsnitz und Röder geprägt.

Die Erzgebirgshochwasser sind in ihrer Charakteristik schwieriger einschätzbar als ein Hochwasser an der Elbe. Sie sind je nach Niederschlagsgebiet regional begrenzt oder erstrecken sich auf große Teile des Erzgebirges bzw. viele Gewässer gleichzeitig. Die größte Gefahr liegt dabei in ihrem sturzbachartigen Verhalten. Verwüstungen, die denen des Augusts 2002 ähneln, wurden durch Hochwasser der Zwickauer Mulde 1858, der Vereinigten Mulde 1871, der Flüsse im Osterzgebirge 1897 und 1927, regional begrenzt 1931 und 1948 sowie 1954 und 1957 verursacht. Aufgrund ihrer Bedeutung während des Hochwassers im August 2002 wird im folgendem Abschnitt die Flussgebietscharakteristik der Mulde näher beschrieben.

### 6.3.5 Flussgebietscharakteristik der Mulde

Die Freiberger Mulde und die Zwickauer Mulde, beide haben ihren Ursprung im Erzgebirge, treffen sich bei Sermuth und schließen sich zur Vereinigten Mulde zusammen, die dann bei Dessau in die Elbe mündet. Alle drei Muldenabschnitte haben in etwa die gleiche Lauflänge, jeweils etwas über 100 km. Zu erwähnen ist auch das

Flüsschen Zschopau, da es mit zum natürlichen Gewässerlauf der Mulde gehört. Die Zschopau, der untere Teil der Freiberger Mulde und die Vereinigte Mulde haben eine Gesamtlauflänge von 252 km und durchfließen von der Quelle bis zur Mündung einen Höhenunterschied von etwa 1.000 m. Daher ist die Mulde der Fluss mit der im Durchschnitt höchsten Fließgeschwindigkeit in Europa.

Nach der Vereinigung von Freiberger und Zwickauer Mulde zur Vereinigten Mulde bei Sermuth werden die Städte Grimma und Trebsen durchflossen. Zwischen Dehnitz und Schmölen fließt die Mulde in einem sehr engen Tal, ein sogenanntes Durchbruchstal. Dieses Durchbruchstal ist während der Eiszeit entstanden. Die sich anschließende Muldenaue, ein Urstromtal, entstand ebenfalls während der Eiszeit. Der Fluss ändert in der Aue ständig seinen Lauf, hier sind auch noch Altwässer der Mulde vorhanden. Typisch für die Gegend sind die Auwälder (z.B. der Planitzwald) bzw. Auwaldreste (z.B. bei Trebsen; Zauche bei Altenbach). Die Verlegung der Mulde auf einer Länge von ca. 10 km durch den ehemaligen Braunkohlentagebau Muldenstein zwischen den Ortschaften Pouch und Friedersdorf, unterbricht ihre ökologische Durchgängigkeit. Am nördlichen Stadtrand von Dessau mündet die Vereinigte Mulde nach 124 km in die Elbe.

Die Mulde ist einer der „natürlichsten“ Flüsse Deutschlands. Zwischen Eilenburg und Badulda darf sie sich frei bewegen, da 50 % der Uferstrecken unverbaut sind, d.h. es besteht auch kein Flussverbau sondern gegebenenfalls nur Steinschüttung. Bei Leipzig, wo die Mulde bereits das Hügelland verlassen hat, schlängelt sie sich Unterlauf breit dahin. Seine Naturbelassenheit verdankt der Fluss seinen starken Schwankungen zwischen Niedrigwasser (20 m³/s) und Hochwasser (1.200 m³/s). Dabei nimmt der Fluss einen natürlichen Überflutungsbereich in Anspruch, der an der breitesten Stelle 3,5 km beträgt.

Vor allem vom Witterungsgeschehen im Erzgebirge und Erzgebirgsvorland wird das Abflussregime der drei Muldenabschnitte beeinflusst. Die Wasserführung der Mulden unterliegt beachtlichen Schwankungen, da hier die Niederschläge sehr unregelmäßig fallen. Üblicherweise treten im Frühjahr durch die Schneeschmelze hohe Wasserstände auf. Die Wasserführung nimmt dann in der Regel bis zum Herbst stetig ab. Im Oktober/November werden die niedrigsten Abflusswerte registriert. Nicht selten aber wird dieses Abflussregime im Hochsommer von Starkniederschlägen unterbrochen, die von Gewittern begleitet hauptsächlich im Erzgebirgsvorland niedergehen. Die so entstehenden Sommerhochwasser können verheerende Ausmaße erreichen. Das Abflussregime wird seit 1911 am Pegel Golzern, dem ältesten Pegel im Muldengebiet, registriert.

### 6.3.6 Meteorologische Situation während des Hochwassers 2002

In der Regel kommt es in Deutschland und angrenzenden Gebieten bei folgenden Wetterlagen zu ergiebigen Niederschlägen [LfUG, 2002]:

- bei zyklonalen Westlagen mit raschem Durchzug von Tiefdruckgebieten und ihren Ausläufern, wobei sich die Niederschlagshöhen einzelner Ereignisse zu großen Werten der Niederschlagshöhe summieren,
- bei sich nur zögernd auffüllenden Tiefdruckgebieten bzw. bei langsam vordringenden Fronten oder quasistationären Luftmassengrenzen sowie
- bei einer Vb-Wetterlage (sprich "fünf b"). Im Jahre 1881 unternahm der Meteorologe van Bebber den Versuch der Systematisierung des Wetterablaufs auf der Basis der Bewegung von Tiefdruckgebieten. Von diesem damaligen Versuch ist bis heute nur noch die Zugstrasse V, insbesondere Vb, mit ihrem Weg von Oberitalien über den Balkan, Tschechien, Ungarn und Polen in das Gebiet des Ladogasees bekannt. Inzwischen gibt es neue und erweiterte Klassifikationen in der Meteorologie. Die Bezeichnung der Zugbahn Vb blieb aufgrund der großen Bedeutung dieser Wetterlage bis heute erhalten [Hagen, 1943].

  Bei einer Vb-Wetterlage bildet sich infolge eines massiven Kaltlufteinbruchs über Westeuropa - unterstützt durch die Lee-Wirkung der Alpen - zunächst ein Tief über Oberitalien. Es verlagert sich nord- oder nordostwärts und führt dabei feucht-warme Meeresluft mit sich, die am Rande der Kaltluft zum Aufgleiten gezwungen wird. Im Grenzbereich der beiden Luftmassen entwickeln sich ausgedehnte Starkniederschläge längerer Dauer (**Abbildung 6.3.6.1**).

  Normalerweise entstehen diese Vb-Tiefs nur im Winter. Im Vorwege der Hochwassersituation an der Elbe waren bereits vier solcher Tiefdruckgebiete auch im Sommer aufgetreten. Sie sind in der Regel wegen der wärmeren Luftmassen regenreicher als im Winter. Diese Tiefs hatten dazu geführt, dass im oberen Elbeeinzugsgebiet die Böden schon so weit mit Wasser angereichert waren, dass kein weiteres Bindungsvermögen für weitere Niederschläge mehr bestand.

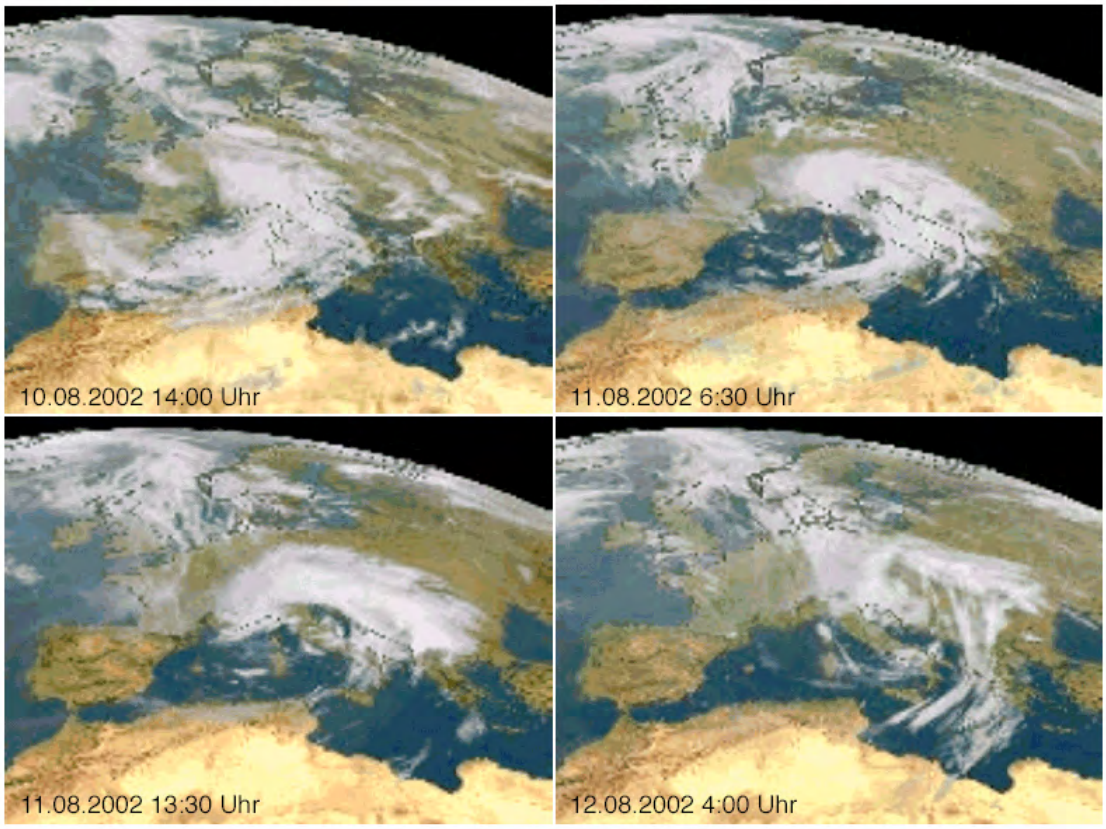



**Abbildung 6.3.6.1**: Vb-Zyklon im August 2002

Zu dieser ungünstigen Wasserspeichermöglichkeit kam nun der extrem starke und flächendeckende Niederschlag des fünften Vb-Tiefs („Ilse“) mit Maxima von über 300 mm Niederschlag im Erzgebirge. Auch in der Tschechischen Republik und in Österreich fielen am 12.08.2002 verbreitet über 100 mm Niederschlag. Durch die Nord-Süd-Orientierung des Starkniederschlagsgebietes waren das gesamte Einzugsgebiet der Elbe und einige Einzugsgebiete von Nebenflüssen der Donau betroffen.

Die Vb-Wetterlage ist, wie eine eingehende Untersuchung von Grünewald zeigt, keine Seltenheit. Im Einzugsgebiet der Elbe, beispielsweise an der Gottleuba, die in Pirma in die Elbe mündet, gab es in den Jahren 1897, 1927 und 1957 jeweils im Juli extreme Niederschlagsereignisse, die mit extremen Hochwassern verbunden waren. Vor allem am 8./9. Juli 1927 entstanden im Osterzgebirge in den Flussgebieten der Gottleuba und der Müglitz verheerende Hochwasser. Innerhalb weniger Stunden fielen mehr als 200 mm Regen. Der damalige Gesamtschaden wird mit 122 Menschenleben beziffert. 110 Brücken wurden zerstört, 20 Eisenbahnstrecken sowie zahlreiche Gebäude.

Auch die Oderflut 1997 war das Resultat einer solchen Vb-Wetterlage [Engel 2003]. Damals regneten sich die aufgeladenen extrem feuchten Wassermassen in der Zeit vom 4. bis 9. Juli 1997 über dem Altvatergebirge und den Beskiden in den Einzugs-

gebieten der Oberen Oder und ihren Nebenflüssen ab. Aber auch in der Morava kam es zu einem extremen Hochwasser. Die Folgen waren in Tschechien und Polen katastrophal. 114 Tote wurden registriert, 180.000 Menschen mussten evakuiert werden. Allein in Polen wurden 672.000 ha Land überflutet und ca. 45.000 Wohngebäude zerstört. Im Juli 2001 führte eine ähnliche Wettersituation zu einem extremen Hochwasser im Einzugsgebiet der Weichsel [Grünewald, 2002]. Auch das Hochwasser im August 2005 an der Donau mit ihren Nebenflüssen war Folge einer Vb-Wetterlage.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Vb-Wetterlage ein Ereignis ist, dass erstmals 1881 beschrieben wurde und daher keineswegs auf weltklimatische Veränderungen zurückzuführen ist. Die beiden Hochwasser an Elbe und Oder sind in zwei Phasen entstanden. Vorregenperioden haben in Phase 1 zu Wassersättigung der Bodenporenvolumina geführt und damit zur Ausschaltung der Zwischenspeicherfunktion der Böden weiter Teile der Einzugsgebiete. Es folgten in Phase 2 hochwasserauslösende Niederschläge, die in beiden Regionen den Vb-Wetterlagen entstammten. Was sich in den letzten Jahren jedoch verändert hat, ist die Häufigkeit und möglicherweise auch die Intensität dieses Ereignisses. Eine umfangreiche Dokumentation des Augusthochwassers 2002 an der Elbe wurde von der IKSE vorgelegt [IKSE, 2004].

## 6.4 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten und Schadenspotenzialen

### 6.4.1 Niederrhein – NRW

#### 6.4.1.1 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten

Wie unter Kapitel 3.2.1 dargestellt wurde, werden Überschwemmungsgebiete durch die Bezirksregierungen nach vorheriger Ermittlung der Gebiete durch eine Verordnung festgesetzt. Eine gesetzliche Festlegung von Überschwemmungsgebieten zwischen Ufer und Deichen kennt das Landeswassergesetz von Nordrhein-Westfalen nicht. Die Feststellung von Überschwemmungsgebieten ist im Regierungsamtblatt zu verkünden und den Gemeinden bekannt zu machen. Obwohl die behördlichen Verantwortlichkeiten zum Hochwasserschutz dezentral organisiert sind, wurden in der Praxis meist die Gebiete zwischen Uferlinie und Hochwasserschutzanlagen als Über-

schwemmungsgebiete amtlich festgestellt. Deichbruchszenarien wurden hierbei nicht berücksichtigt.

In den letzten Jahren wurden jedoch für NRW flächendeckend für alle Gewässer Überflutungsflächen für ein $HQ_{100}$ (Ausnahme Rhein mit $HQ_{500}$) erarbeitet, die auf der Homepage des Landesumweltamtes abrufbar sind. Wie in Kapitel 5.4 schon dargestellt wurde, wurden beispielsweise von der Stadt Köln noch präzisere Karten für ihr Stadtgebiet für verschiedene Hochwasserszenarien vorgelegt (vgl. Abbildungen 5.4.1 und 5.4.2). Bezogen auf den Rhein wurde von der IKSR ein umfangreiches Kartenmaterial erarbeitet, das ebenfalls verschiedene Hochwasserszenarien berücksichtigt.

Bei all den genannten Karten wurde jeweils ein bestimmtes Bemessungshochwasser angesetzt und waagerecht über die Fläche ohne Berücksichtigung von Deichen und anderen Schutzanlagen ausgezogen. Auf diese Weise wurden Flächen erfasst, die potenziell bei einem Deichversagen gefährdet sind. Bei diesen Flächen handelt es sich somit nicht um amtlich festgestellte Überschwemmungsgebiete. Ungeprüft blieb bei der Erfassung der potenziellen Überflutungsgebiete die Frage, ob eine derartige Wassermenge überhaupt anfallen kann.

Aus dem für den gesamten Rheinlauf vorliegenden Rheinatlas der IKSR können auch die Gefahrenpotenziale und die dort möglichen HW-Stände entnommen werden. Wie diese Auswertungen, die als **Abbildung 6.4.1.1.1** beigefügt sind, zeigen, ist der Detaillierungsgrad nicht ausreichend, um genauere Aussagen für ein konkretes Grundstück zu treffen.

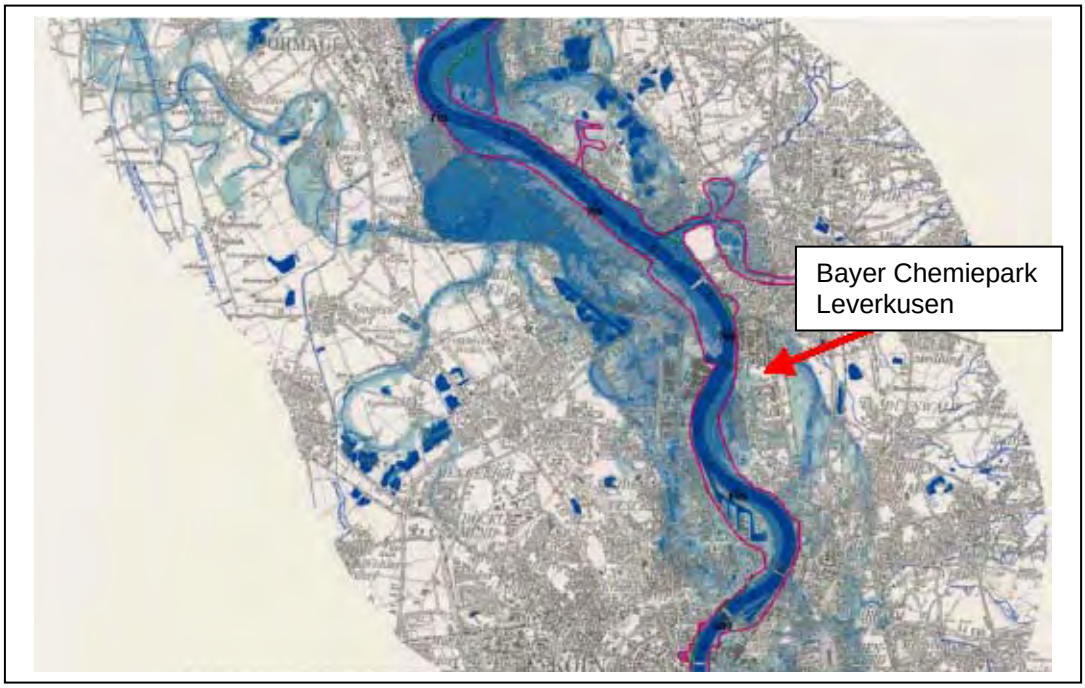



**Abbildung 6.4.1.1.1**: Potenzielles Überflutungsgebiet am Niederrhein im Bereich Köln/Leverkusen/Dormagen (Rhein-Atlas der IKSR, 2001)

### 6.4.1.2 VAwS-Anlagen und Betriebsbereiche

Für dieses Forschungsvorhaben ist vor allem die Frage von Bedeutung, inwieweit Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen und Betriebsbereiche, die der Störfall-Verordnung unterliegen, in einem Zusammenhang mit einer möglichen Gefährdung durch Hochwasser gestellt wurden. Im Rahmen der Ermittlung und Bewertung potenzieller Hochwasserschäden in NRW wurden in einer Studie des Landes die Lastfälle für extreme Hochwasser-Szenarien der Jährlichkeiten 100, 200 und 500 untersucht, wobei einmal ohne und ein weiteres Mal mit Hochwasserschutzmaßnahmen gerechnet wurde [MURL, 2000]. Dabei entspricht die Berechnung ohne Berücksichtigung der Hochwasserschutzmaßnahmen den Fällen, bei denen Deiche überflutet werden oder gar brechen. In dieser Karte wurden anschließend die Standorte mit wassergefährdenden Stoffen sowie die Standorte größerer Unternehmen eingezeichnet. Es wurde hierbei allerdings nicht dargestellt, ob es sich hierbei um Anlagen von Betriebsbereichen handelt, die der Störfall-Verordnung unterliegen (**Abbildung 6.4.1.2.1**).[8]

[8] Die Bezugsfläche ist etwas größer als das gefährdete Gebiet bei $HQ_{100}$, weil sich die Unternehmensangaben auf Postleitzahlengebiete beziehen.

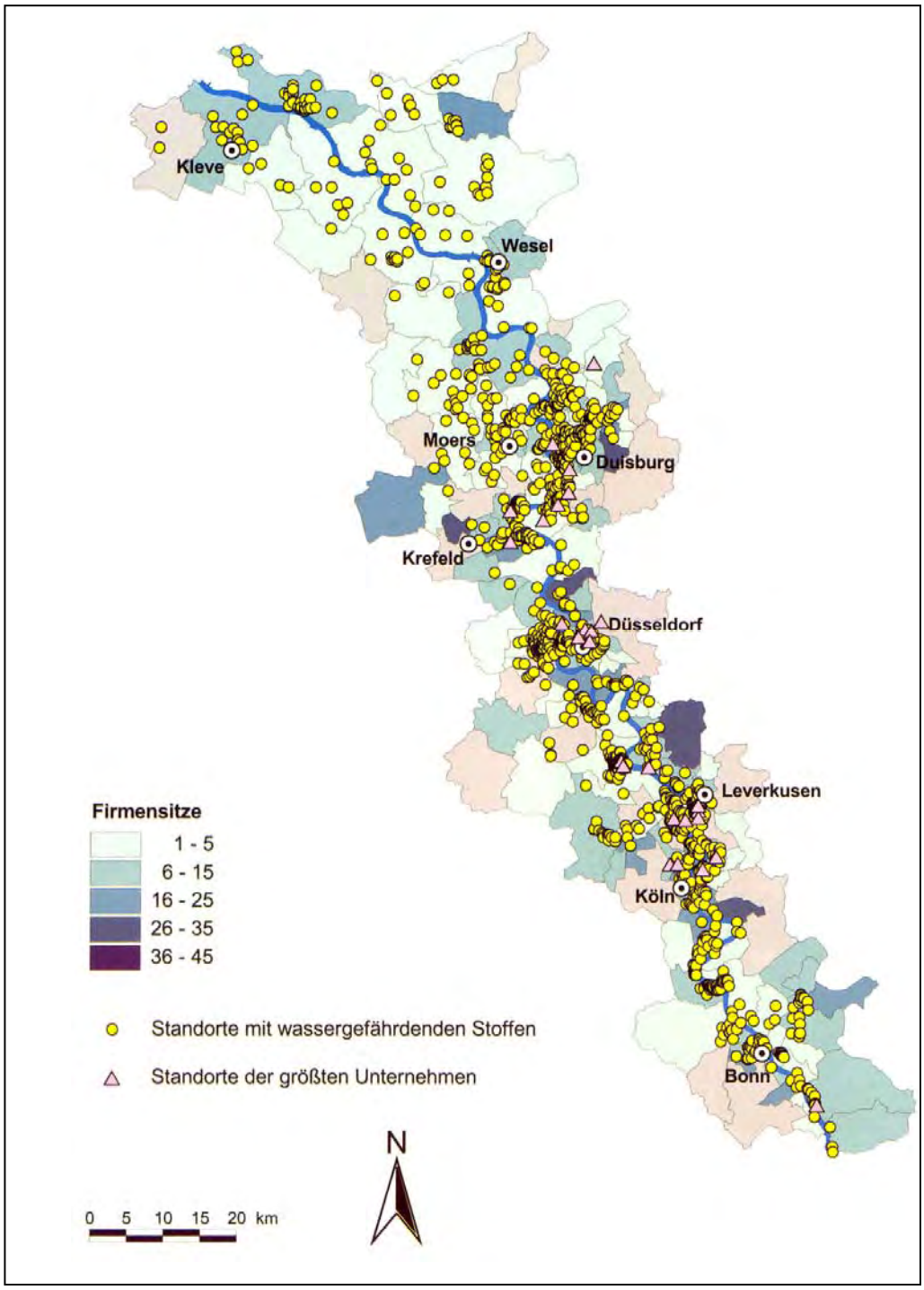



**Abbildung 6.4.1.2.1**: Standorte mit wassergefährdenden Stoffen

Von den 1.045 Anlagen im Untersuchungsgebiet können nach der Studie des MURL (heute MUNLV) 985 im Hochwasserfall ($HQ_{500}$) Einträge wassergefährdender Stoffe in das Gewässer verursachen [MURL, 2000]. Deutlich sind die industriellen Schwerpunkte von Bonn, über Köln, Leverkusen, Dormagen bis Düsseldorf, der Hafen in

Duisburg sowie der Standort Emmerich kurz vor der holländischen Grenze erkennbar. Die branchenspezifische Aufteilung gibt **Abbildung 6.4.1.2.2** wieder.

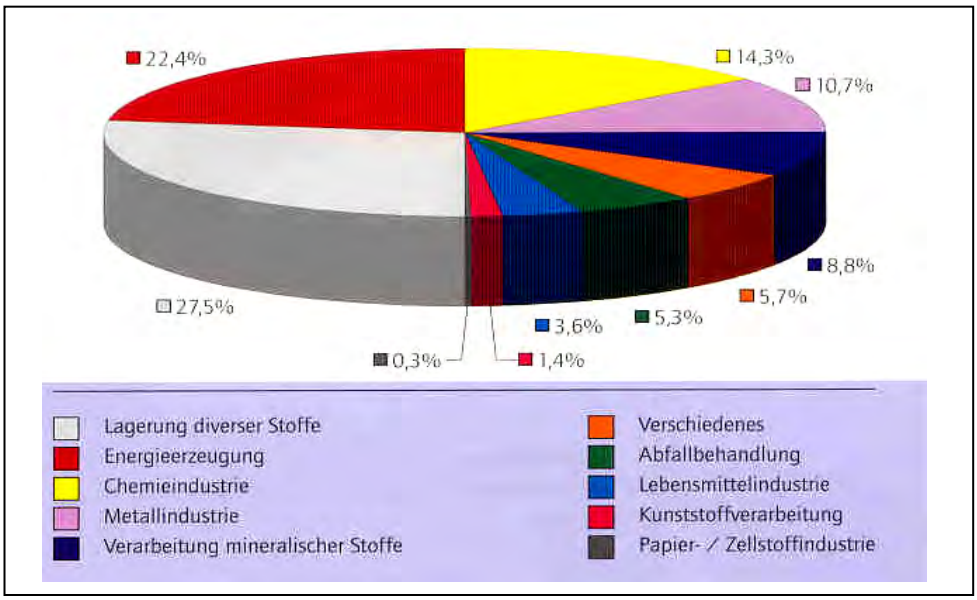



**Abbildung 6.4.1.2.2**: Branchenspezifische Aufteilung der Anlagen für wassergefährdende Stoffe

In der vorgelegten Studie des MURL wurden nur Schäden aufgenommen, die eindeutig monetär fassbar waren. Hierzu zählen z.B.:

- Gebäudeschäden
- Vermögensschäden
- Wohnungs-, Hausrats- und Kfz-Vermögensschäden
- Schäden durch Produktionsunterbrechung

Schadensfunktionen geben den Zusammenhang zwischen monetärem Schaden und Hochwasserparametern, wie z.B. Überstauhöhe, Überflutungsfläche oder Einstaudauer wieder. Dieser Zusammenhang wird für Nutzungsarten bzw. Wirtschaftszweige oder für spezielle Nutzungen als Funktion definiert. Schadensfunktionen werden aufgrund von Hochwasserschadenserfassungen oder darauf basierender Regressionsanalysen aufgestellt. Die Grundlagen für die in der Untersuchung aufgestellten Schadensfunktionen sind:

- Analyse von Hochwasserschadensdaten, die beim Bayrischen Landesamt für Wasserwirtschaft archiviert und gepflegt werden (HOWAS)
- Erfahrungswerte aus ähnlichen Untersuchungen aus anderen Regionen

- Befragungen und Analyse spezieller Standorte

Neben den Wirkungen, die sich in Geldgrößen darstellen lassen, gibt es noch eine Reihe weiterer Schadensbilder, die sich nicht monetär fassen lassen und daher in der Studie auch nicht berücksichtigt wurden. Hierzu zählen auch Umweltschadenspotenziale wie z.B. die Freisetzung von Schadstoffen aus

- industriellen und gewerblichen Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen,
- Kläranlagen,
- Deponien und Altablagerungen,
- Heizölbehälter und Fäkaliengruben.

Weitere nicht monetär fassbare Größen sind z.B. Gesundheitsschäden im Wohnbereich. Dies bedeutet, dass im Ereignisfall die tatsächlichen Schäden deutlich höher sind als die abschätzbaren Schäden. Die im Rahmen dieser Untersuchung interessierenden Bereiche der Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen und der Betriebsbereiche gemäß der Störfall-Verordnung wurden bislang nicht betrachtet.

## 6.4.2 Sachsen-Anhalt

### 6.4.2.1 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten

Als Überschwemmungsgebiete wurden in Sachsen-Anhalt bis zum Juli 2003 durch § 96 WG LSA solche Gebiete definiert, die dem Hochwasserabfluss oder der Hochwasserrückhaltung dienen und zwischen Uferlinie und dem Hauptdeich liegen. Darüber hinaus gelten auch Flutungspolder als Überschwemmungsgebiete. Ähnlich wie in Nordrhein-Westfalen wurden und werden Überschwemmungsgebiete in einem förmlichen Verfahren durch Verordnung festgesetzt. Auf der Übersichtskarte in **Abbildung 6.4.2.1.1** sind für das Gebiet des Landes Sachsen-Anhalt die förmlich festgesetzten Überschwemmungsgebiete und die deichgeschützten Flächen an der Elbe und Havel, wie sie vor der Flutkatastrophe 2002 galten, dargestellt. Darüber hinaus wurden auch Flächen dargestellt, die bei einem möglichen Deichbruch überflutet werden können [LfU LSA, 2002].

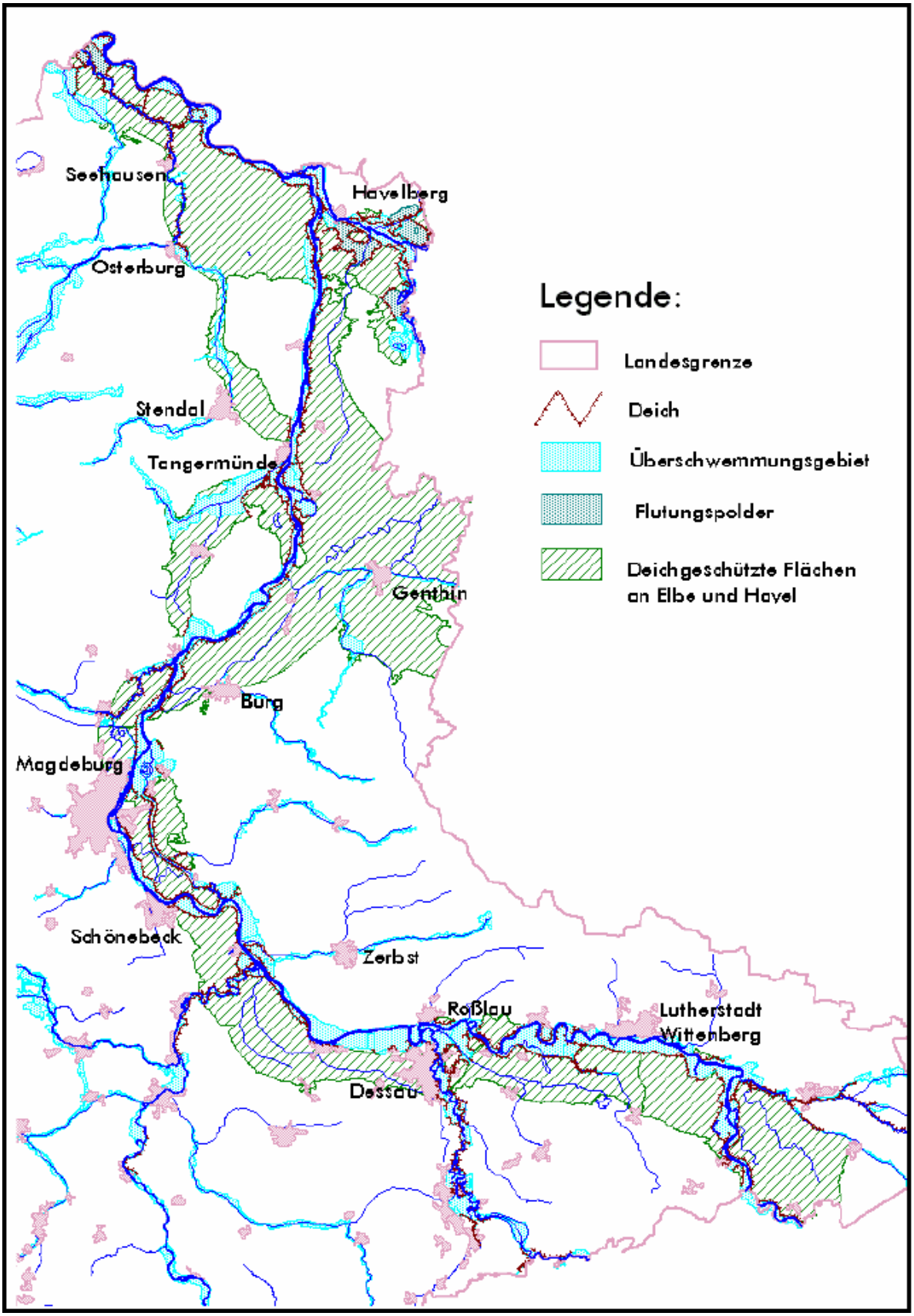



**Abbildung 6.4.2.1.1**: Übersichtskarte über Überschwemmungsgebiete und deichgeschützte Flächen an der Elbe und der Havel in Sachsen-Anhalt

Die Überschwemmungsgebiete an der Elbe werden weitestgehend durch Deiche begrenzt. In Sachsen-Anhalt werden Flächen in einer Ausdehnung von ca. 250 000 ha durch Deiche geschützt. Die Hälfte aller Elbdeiche befinden sich in Sachsen-Anhalt, jedoch nur fünf Prozent entsprachen zum Zeitpunkt der Flutkatastrophe 2002 der DIN-Norm 19712 (Flussdeiche). Alle 2002 gebrochenen Deiche entsprachen nicht dieser Norm. Daher gilt die Herstellung DIN-gerechter Deiche als Kernstück eines dauerhaften Hochwasserschutzes in Sachsen-Anhalt. Hinzu kommt die Ausweisung natürlicher Überschwemmungsgebiete, der Bau von Flutungspoldern und Hochwasserrückhaltebecken sowie die Rückverlegung von Deichen. Die flächendeckende Festsetzung von Überschwemmungsgebieten soll bis 2012 erfolgen, damit Kommunen Bebauung und Flächennutzung im Interesse des Hochwasserschutzes einschränken können. Noch nicht ausgewiesene Überschwemmungsgebiete liegen vor allem entlang der Flüsse im Harz und in der Altmark.

Nach den Planungen ist die Errichtung bzw. Sanierung aller Deiche in Landesverantwortung entsprechend der DIN-Norm im Wesentlichen bis 2010 geplant. Unter den 1.343 km Deichkilometern erhalten die im Elbe/Mulde/Elster-Bereich gelegenen Priorität. Das Hochwasserkonzept für die Mulde ist in **Abbildung 6.4.2.1.2** dargestellt. Hierin sind der Stand vor dem Hochwasserereignis 2002 sowie die teilweise schon realisierten oder noch geplanten Maßnahmen zum Hochwasserschutz erkennbar. Danach ist der Bereich des Chemieparks Bitterfeld/Wolfen kein Überschwemmungsgebiet.

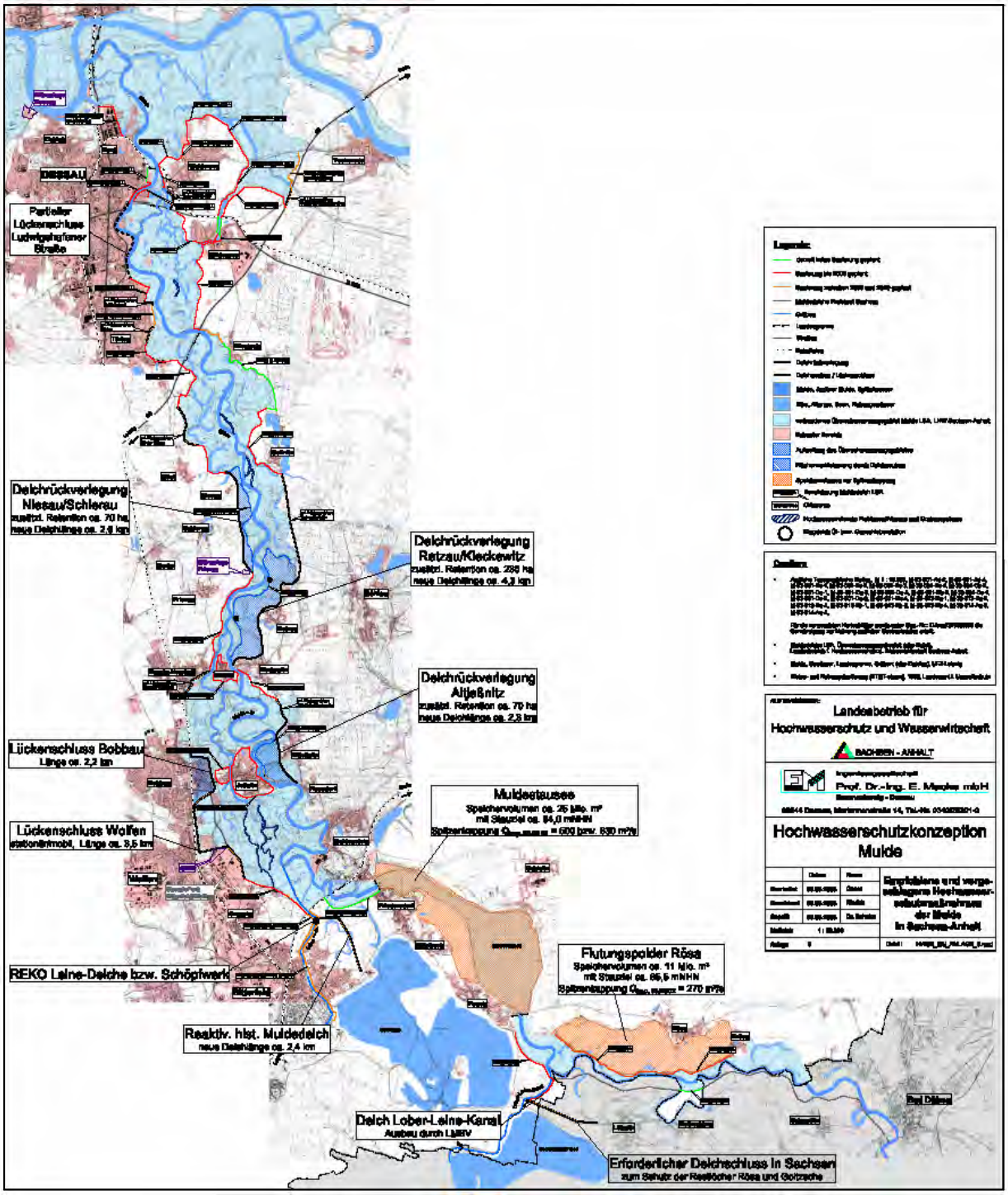



**Abbildung 6.4.2.1.2**: Hochwasserschutzkonzept Mulde

Das Areal B der Chemieparks, auf das in Kapitel 6.6.1 noch näher eingegangen wird, wurde 1954 überflutet. Aufgrund dieser Informationen wurde für den Neubau der Bayer Bitterfeld GmbH ihr Gelände aufgeschüttet, so dass dieses nicht mehr als Überschwemmungsgebiet angesehen wurde.

#### 6.4.2.2 VAwS-Anlagen und Störfallanlagen

Die Gebiete an der Elbe und Mulde sind nicht so stark industrialisiert wie z.B. der Niederrhein. Das Land Sachsen-Anhalt verfügt jedoch mit dem Chemiepark Bitterfeld/Wolfen über eine konzentrierte Industrieansiedlung, die von der Hochwasserflut 2002 an der Mulde mittelbar betroffen war. Hier gibt es zahlreiche Betriebsbereiche gemäß der Störfall-Verordnung sowie VAwS-Anlagen. Ein weiterer industrieller Schwerpunkt an der Elbe ist die Lutherstadt Wittenberg. Die dortigen Chemieanlagen waren jedoch im August 2002 nicht gefährdet, weil das Gelände deutlich höher liegt als das auf der anderen Elbseite gelegene Gebiet. Ein weiterer Standort ist das Industriegebiet in Schönebeck, das unmittelbar an der Elbe liegt.

### 6.4.3 Sachsen

#### 6.4.3.1 Ermittlung von hochwassergefährdeten Gebieten

Bis zum Hochwasser 2002 wurden durch § 100 des Sächsischen Wassergesetzes Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 32 Abs. 1 Satz 1 WHG durch Rechtsverordnung festgesetzt. Gebiete, die durch Deichbruch überflutet werden könnten, wurden bis dahin nicht ermittelt. Wie in Kapitel 3.2.3 schon dargestellt wurde, sind mit dem neuen Sächsischen Wassergesetz vom Oktober 2004 nunmehr auch alle Gebiete in Raumordnungs- und Bauleitplänen zu kennzeichnen, die bei Versagen eines Deiches überschwemmt werden. Diese Arbeiten beginnen zur Zeit und werden erst in einigen Jahren abgeschlossen sein.

#### 6.4.3.2 VAwS-Anlagen und Betriebsbereiche

Aufgrund der Ereignisse im August 2002 wurden vom Landesamt für Umwelt- und Geologie Karten flächendeckend erarbeitet, die die Überschwemmungsgebiete des Augusthochwassers 2002 darstellen. Ebenso wurden alle Betriebsbereiche, die der Störfall-Verordnung unterliegen, in den Karten gekennzeichnet. Hierbei wurde unterschieden zwischen den Betriebsbereichen mit Grundpflichten sowie denjenigen mit erweiterten Pflichten. VAwS-Anlagen wurden in diesen Karten nicht verzeichnet. Die Gesamtübersicht zeigt **Abbildung 6.4.3.2.1**. Landesweit gibt es ca. 100 Betriebsbereiche. **Abbildung 6.4.3.2.2** zeigt einen Ausschnitt aus einer Karte im Verantwortungsbereich des ehemaligen StUFA Radebeul.

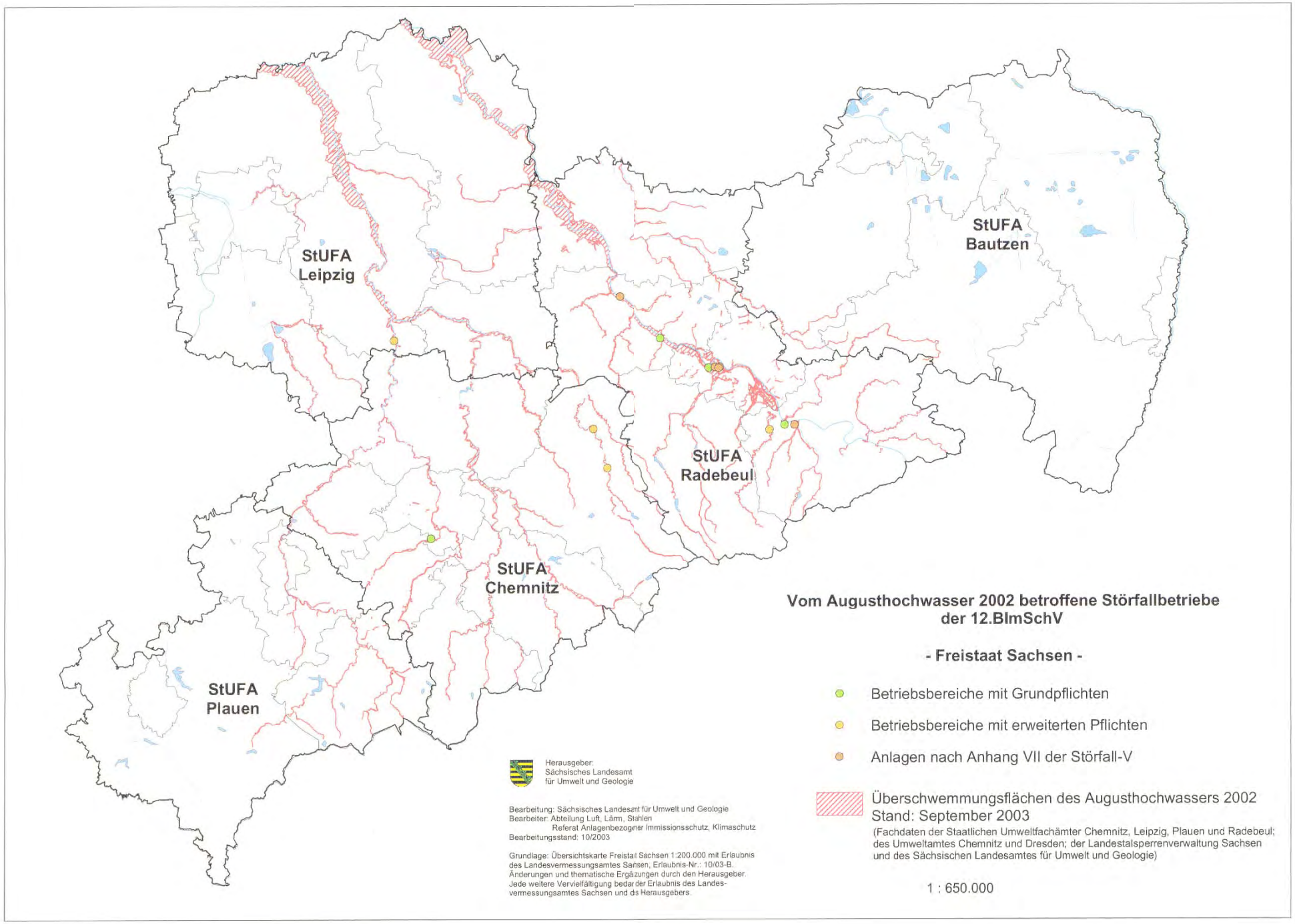



**Abbildung 6.4.3.2.1**: Gesamtübersicht der im August 2002 betroffenen Betriebsbereiche (nach ehemals Anhang VII StörfallV)

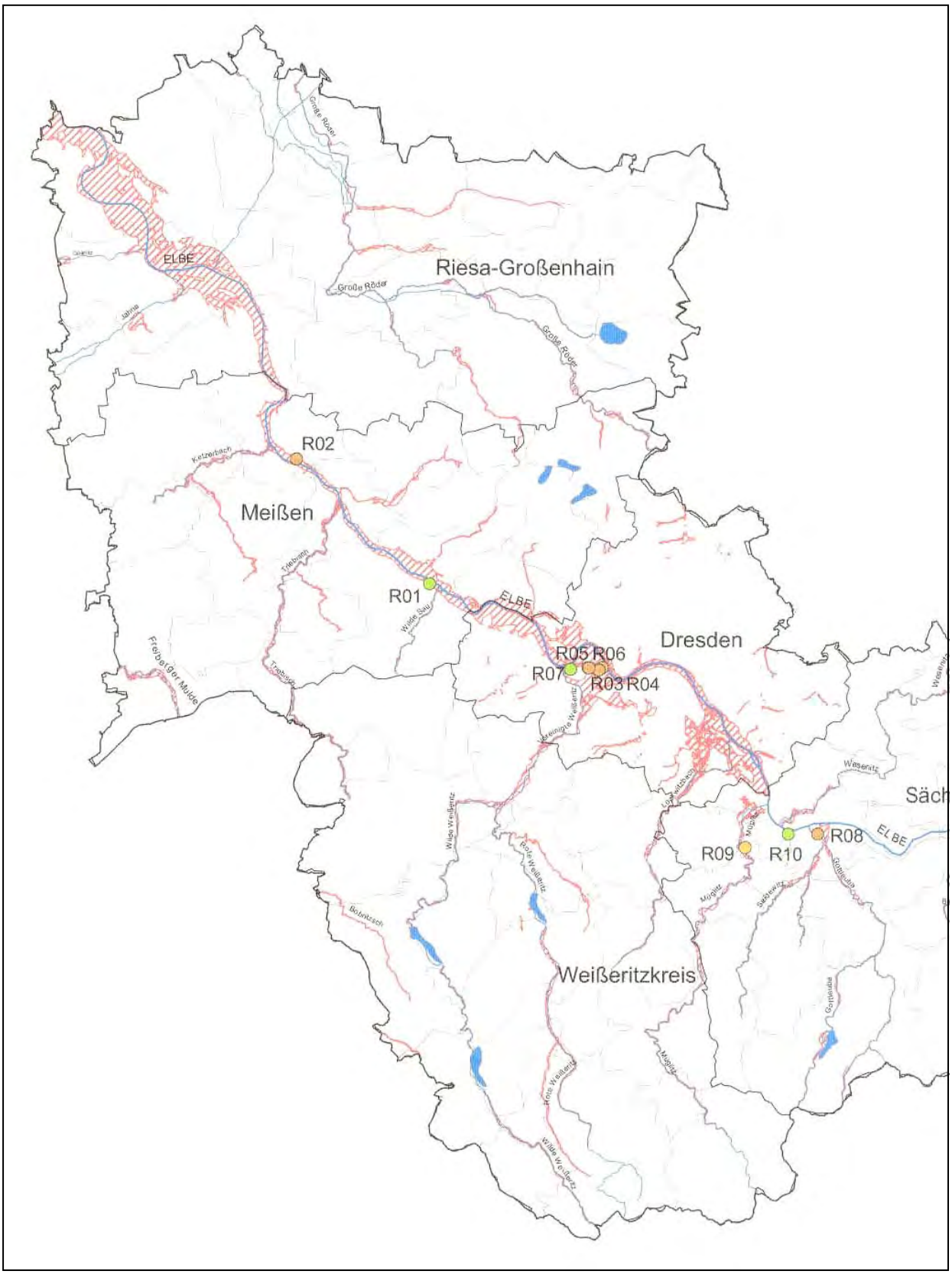



**Abbildung 6.4.3.2.2**: Kartenausschnitt zur Lage von Betriebsbereichen gemäß StörfallV

## 6.5 Modellregionen in Nordrhein-Westfalen

Für die Auswahl der Modellregionen am Rhein in Nordrhein-Westfalen wurden folgende zwei Untersuchungsberichte als Grundlage herangezogen:

- Potenzielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW, herausgegeben vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (MURL, heute MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, Feb. 2000
- Rheinatlas der IKSR, 2001

Wie Abbildung 6.4.1.2.1. schon verdeutlichte, liegen die industriellen Schwerpunkte bei Bonn, Köln, Leverkusen, Dormagen bis Düsseldorf, im Hafen von Duisburg sowie bei Emmerich kurz vor der niederländischen Grenze.

Die zweite Grundlage zur Auswahl der Modellregionen in NRW war der Rheinatlas aus dem Jahre 2001 der IKSR. Die Karten der IKSR gliedern sich wie folgt:

- Überschwemmungsgrenze der 10jährlichen Hochwasser ($HQ_{10}$):
  Die Anschlaggrenze des $HQ_{10}$ ist wie folgt gekennzeichnet:
  Anschlaggrenze $HQ_{10}$

- Überschwemmungsgrenze der 100jährlichen Hochwasser ($HQ_{100}$):
  Die Anschlaggrenze des $HQ_{100}$ ist wie folgt gekennzeichnet:
  Anschlaggrenze $HQ_{100}$

- Überschwemmungsgrenzen und Wassertiefen bei Extremereignissen:
  Dieses sind sehr seltene Ereignisse, bei denen die bisher beobachteten Wasserstände deutlich übertroffen und/oder die bestehenden Hochwasserschutzbauten lokal überströmt werden bzw. versagen. Die Möglichkeit, dass diese Ereignisse eintreten, ist so gering, dass keine Eintrittswahrscheinlichkeit angegeben werden kann. Es ergeben sich daraus auch keine unmittelbaren Nutzungseinschränkungen, aber im Rahmen einer Vorsorgestrategie und der Notfallplanung soll die Möglichkeit einer Überschwemmung in Betracht gezogen werden. Dies betrifft insbesondere sensible Objekte wie Industrieanlagen und private Öllager, deren Überschwemmung zu erheblichen Schäden führen können.

Im Kartenmaterial der IKSR wurden die potenziellen Wassertiefen farblich gekennzeichnet (**Tabelle 6.5.1**).

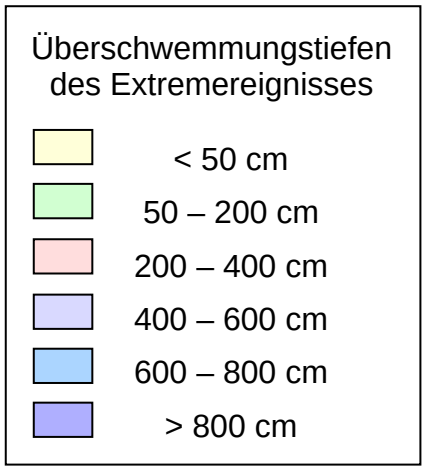



**Tabelle 6.5.1**:

Farbliche Abstufungen der im Rheinatlas 2001 potenziellen Überschwemmungstiefen

Diese Einstufungen gelten für stehendes oder langsam strömendes Wasser, was in der Regel für die gefährdeten Gebiete entlang des Rheins zutrifft. Andere Parameter wie Fließgeschwindigkeiten, Stabilitätsuntersuchungen, Effekte von Retentionswirkungen und Hochwasserscheitelkappung nach Deichbruch, lokale Rückstaueffekte sowie Wahrscheinlichkeitsüberlegungen sind für dieses Rechenszenario bewusst unberücksichtigt geblieben. Für die Berechnungen für ein Extremhochwasser am Niederrhein zwischen Rhein-km 642 bis km 857, der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens von Bedeutung ist, wurde von der IKSR ein 500jährliches Hochwasser zu Grunde gelegt.

## 6.5.1 Modellregion Emmerich

Bei der Darstellung der Ursachen für Hochwasserereignisse am Rhein wurde deutlich, dass bei Zusammentreffen der Abflusswellen des Rheins mit denen seiner Nebenflüsse vor allem die Gebiete am Niederrhein besonders gefährdet sind. Darüber hinaus gibt es in Emmerich zahlreiche Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen (vgl. **Abbildung 6.5.1.1**) sowie Betriebsbereiche, die der Störfall-Verordnung unterliegen. In **Abbildung 6.5.1.2** sind die Überschwemmungsgebiete für ein 10 und 100 jähriges Hochwasser sowie für ein Extremhochwasser für die Region um Emmerich dargestellt (siehe Angaben im Rheinatlas).

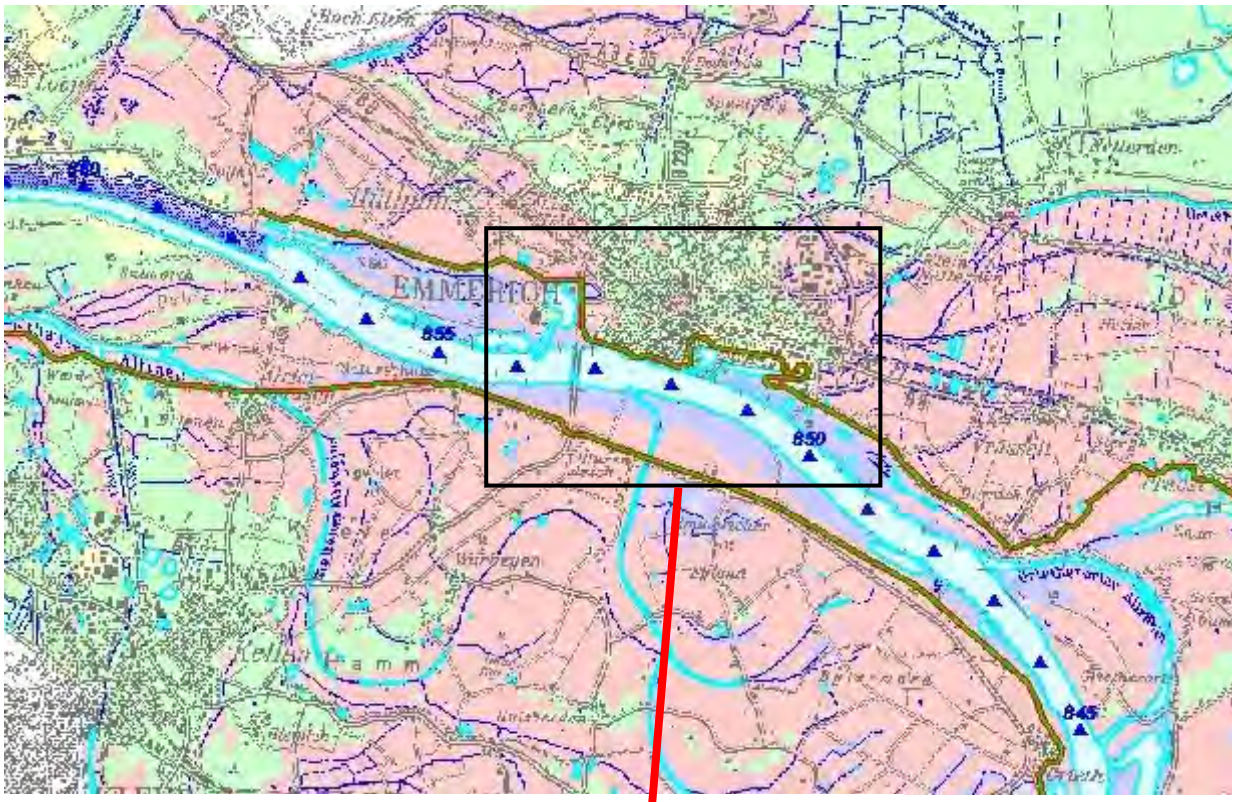



**Abbildung 6.5.1.1**: Rheinatlas Emmerich

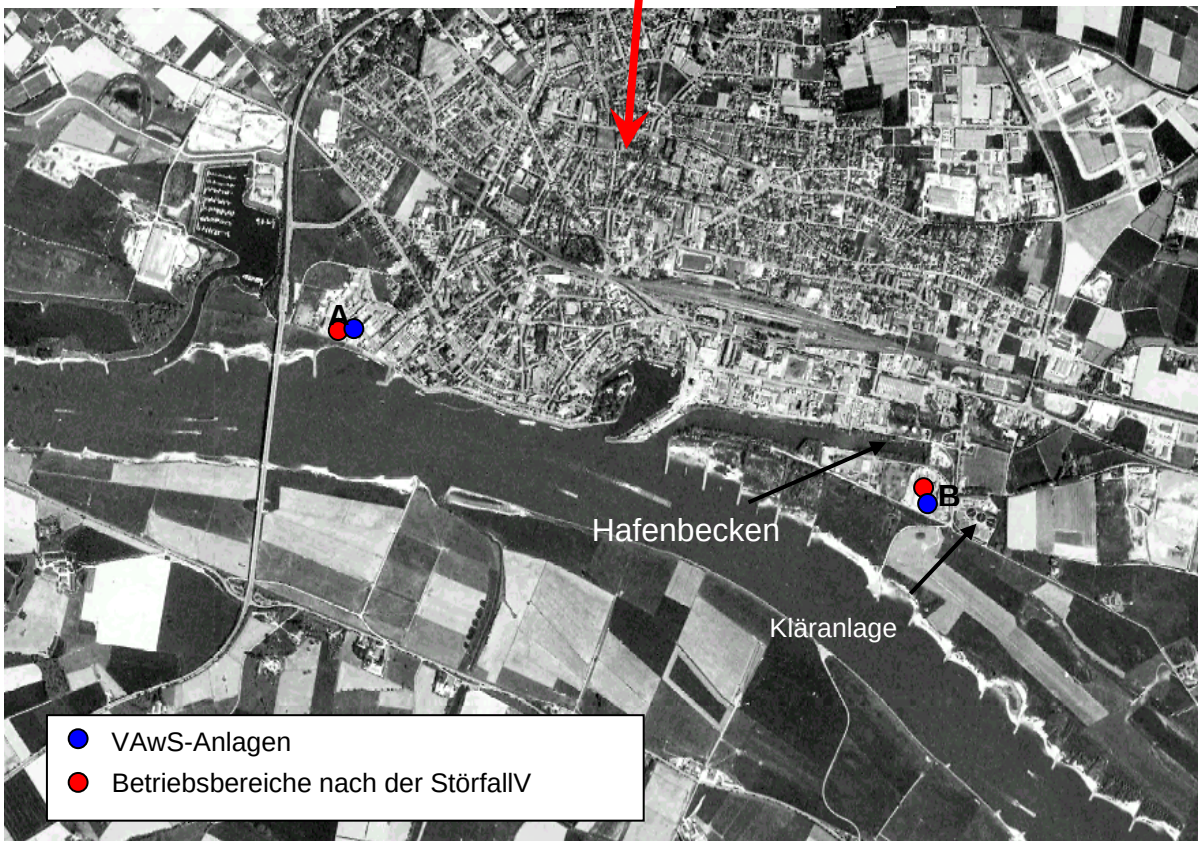



**Abbildung 6.5.1.2**: Luftbild der Modellregion Emmerich am Niederrhein mit der Lage der Betriebsbereiche nach StörfallV sowie VAwS-Anlagen

Emmerich ist durch zahlreiche mittelgroße Unternehmen geprägt. Bei den in Abbildung 6.5.1.2 gekennzeichneten Unternehmen handelt es sich um zwei Unternehmen mit chemischen Produktionsbereichen. Die ausgewählten Betriebsbereiche liegen unmittelbar am Rhein in erhöhter Lage bzw. am Rand eines Hafenbeckens. Einige Produktionsanlagen unterliegen der Störfall-Verordnung. Auf den Standorten der Chemieunternehmen werden zudem zahlreiche Anlagen betrieben, die der VAwS-Anlagenverordnung unterliegen. Die Unternehmen können im Einzelnen wie folgt beschrieben werden:

A: Das Unternehmen KAO Chemicals produziert u.a. Ethersulfonate für Körperpflegemittel. Das Gelände befindet sich zwischen den Rheinauen und dem alten Industriehafen auf einer Halbinsel. Direkt neben KAO befindet sich die städtische Kläranlage, in die das Werk ihr Abwasser einleitet. Die Kläranlage liegt deutlich niedriger und muss daher durch einen Deich vor Hochwasser geschützt werden.

B: Die Uniqema hat sich auf die Herstellung oleochemischer Erzeugnisse spezialisiert, die aus Naturölen und natürlichen Fetten hergestellt werden. Die Produkte werden z. B. in der Kosmetikindustrie und in Körperpflegemittel eingesetzt. Aufgrund von innerbetrieblichen Umstrukturierungsprozessen betreibt die Uniqema am Standort Emmerich heute keine Anlage mehr, die unter die Störfall-Verordnung fällt.

   Das Gelände der Uniqema zählt zu den Bereichen, die wie Abbildung 6.5.1.2 verdeutlicht, im Falle eines Extremhochwassers betroffen wären. 1997 war die gesamte Uferpromenade in Emmerich überflutet. In der Verlängerung der Uferpromenade befindet sich das Werksgelände des Unternehmens.

## 6.5.2 Produktionsanlagen der KAO Chemicals

### 6.5.2.1 Lage des Produktionsstandortes

Die Produktionsanlagen befinden sich unmittelbar neben der Zufahrtstraße, die an die Rheinauen angrenzt. Die Straße zwischen Rheinaue und Betriebsgelände stellt den höchsten Bereich dar (**Abbildung 6.5.2.1.1**). 1995 erreichte das Hochwasser seinen Scheitelpunkt knapp 30 cm unterhalb der Straße.

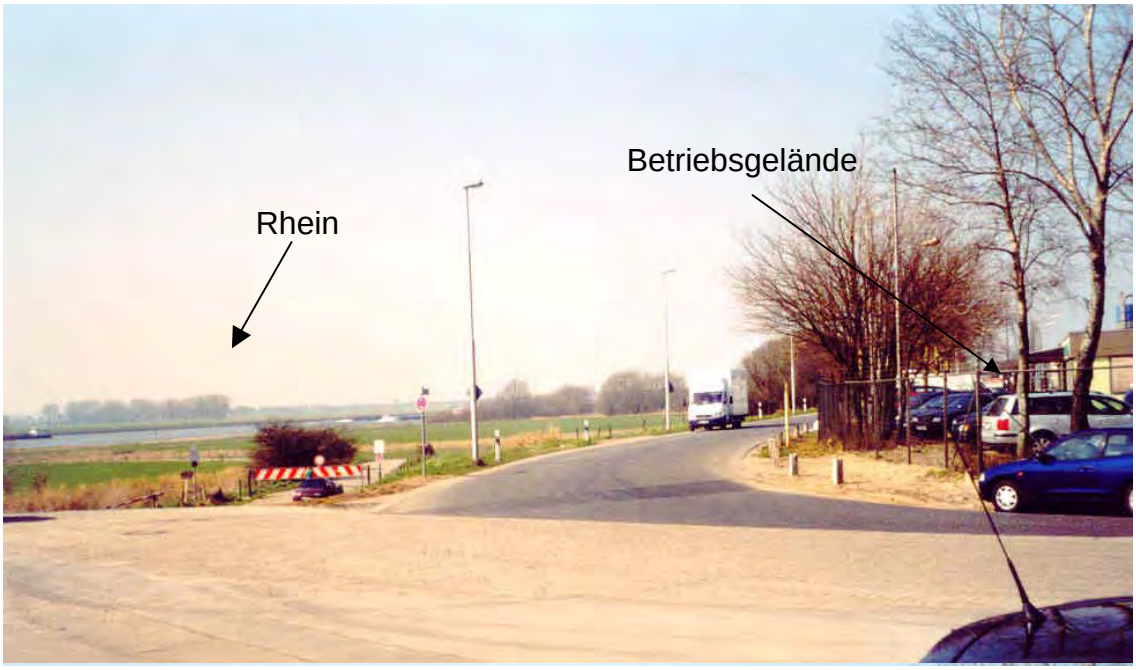



**Abbildung 6.5.2.1.1**: Zufahrtsstraße zwischen Rhein und Betriebsgelände

Aber nicht nur von der offenen Rheinseite besteht eine Gefährdung des Geländes, sondern auch durch das alte Hafenbecken an der Rückseite. **Abbildung 6.5.2.1.2** zeigt eine Aufnahme von der Rückseite (vgl. Abbildung 6.5.1.2).

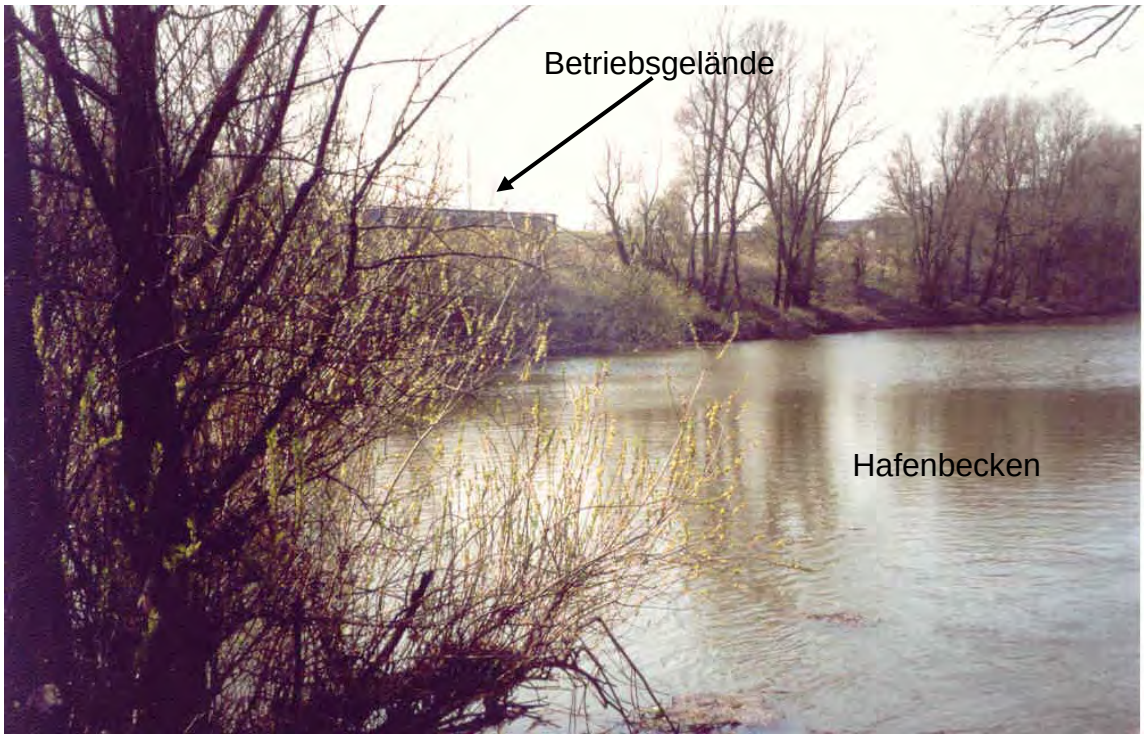



**Abbildung 6.5.2.1.2**: Blick vom Hafenbecken zur KAO Chemicals

#### 6.5.2.2 Produktion

Kao Chemicals produziert u.a. Ethersulfonate und deren Vorprodukte (Ethoxylate, terziäre Amine und Polimere). Die Produktionsanlagen unterliegen den erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung. Mit Ausnahme der Produktion von Ethersulfonaten werden die verschiedenen Produkte diskontinuierlich unter genauer Beachtung der reaktionstechnischen Bedingungen hergestellt.

#### 6.5.2.3 Defizitanalyse

Emmerich liegt am Niederrhein kurz vor dem Grenzübergang zu den Niederlanden. Aufgrund dieser Lage liegt die Vorwarnzeit von Hochwasserereignissen bei mehreren Tagen, so dass frühzeitig Maßnahmen zur Verhinderung der Freisetzung von Stoffen durchgeführt werden können. Die Extremhochwasser in den Jahren 1993 und 1995 erreichten das Betriebsgelände nicht. Die Gefahrenquelle Hochwasser wurde im Sicherheitsbericht sowie im Alarm- und Gefahrenabwehrplan berücksichtigt (Stand: Frühjahr 2004).

Am Standort gibt es zwei Kühlwassersysteme. Das eine Kühlsystem ist ein übliches Rückkühlwerk mit Kühlturm und Kreislaufführung des Kühlwassers. Bei dem zweiten System handelt sich um ein Durchlaufsystem, bei dem aus vorhandenen Brunnen Grundwasser gefördert wird. Dieses wird in einem tief gelegenem Becken gesammelt. Von dort wird es durch bestimmte zu kühlende Anlagenteile gefördert und anschließend dem Rhein zugeführt. Die Vorlagebunker können im Hochwasserfall überflutet werden, so dass Schlamm in die Kammer gelangen kann. Es ist nicht ausgeschlossen, dass hierdurch die betroffenen Kühlsysteme verstopft werden. Die Kreislaufkühlsysteme liegen höher und sind daher nicht so gefährdet wie der tief gelegene Bunker der Durchlaufkühlung. Im Rahmen der Überarbeitung des Alarm- und Gefahrenabwehrplans ist die Sicherung des Kühlsystems zu beachten.

Rechtzeitig sind auch die Becken zur Neutralisation des Abwassers zu entleeren. Hierbei handelt es sich um zwei Becken, deren Aufkantung knapp 20 cm über Geländeniveau liegt. Eine Überflutung bei einem Extremhochwasser kann bei den derzeitigen baulichen Bedingungen nicht ausgeschlossen werden. Der Schutz der Becken kann auch durch eine Erhöhung der Seitenwände erreicht werden.

Bei den Produktionsanlagen handelt sich im Wesentlichen um Freiluftanlagen, die nicht durch ein Gebäude geschützt sind. Weil das Betriebsgelände nur durch ein Hochufer vom Rhein getrennt ist und keine Hochwasserschutzwand existiert, kann auch ein Schaden, der durch Treibgut verursacht wird, nicht sicher ausgeschlossen werden. Ein Schaden z.B. durch einen Baustamm ist jedoch trotzdem kaum wahrscheinlich, weil die Strömungsgeschwindigkeit in Höhe Emmerich als gering einzustufen ist. Dennoch sollten auch die Gefahren durch Treibgut berücksichtigt werden.

Alle Produktionsanlagen sind in die Höhe gebaut, so dass eine Beschädigung von Rohrleitungen oder gar eine Überschwemmung praktisch ausgeschlossen ist. Kellerräume gibt es im Bereich der Produktionsanlagen nicht. Bei den Tankanlagen handelt es sich um große zylindrische Behälter mit meist mehr als 100 $m^3$ Volumen, die allenfalls nur am Fuß mit Wasser umspült werden könnten. Entsprechend den Vorgaben der VAwS des Landes NRW sind die Aufkantungen bis zu 1 m hoch. Problematischer erscheinen jedoch die Fasslager, wie eines in **Abbildung 6.5.2.3.1** zu sehen ist.

**Abbildung 6.5.2.3.1**: Lagerung wassergefährdender Stoffe

Das dargestellte Chemikalienlager liegt unmittelbar an der Zufahrtsstraße, die in Abbildung 6.5.2.1.1 zu sehen ist. In Abbildung 6.5.2.3.1 ist die Sicherung des Lagers durch Aufkantung entsprechend den Vorgaben der VAwS zu erkennen. Die Lagerfläche ist somit entsprechend den rechtlichen Vorgaben gegen den Austritt von wassergefährdenden Stoffen in die Umwelt gesichert. Andererseits stellt die Aufkantung mit der Schranke auch einen gewissen Schutz des Lagerplatzes gegen Hochwasser

dar. Die Höhe der Aufkantung beträgt ca. 40 cm. Im Rahmen eines Alarm- und Gefahrenabwehrplans muss dargestellt werden, dass diese Lagerflächen rechtzeitig zu räumen sind.

## 6.5.3 Produktionsanlagen der Uniqema

### 6.5.3.1 Lage des Produktionsstandortes

Die Uniqema liegt ebenfalls unmittelbar am Rhein und grenzt direkt an die Wohngebiete der Innenstadt. **Abbildung 6.5.3.1.1** zeigt eine Luftaufnahme des Betriebsgeländes.

**Abbildung 6.5.3.1.1**: Betriebsgelände der Uniqema in Emmerich

1995 wurde die Uferpromenade der Innenstadt überflutet. Das Betriebsgelände der Uniqema wird durch eine mobile Schutzwand im Bereich des Wasserwerks sowie durch eine stationäre Wand entlang des Betriebsgeländes bis zur Brücke, die über den Rhein führt, gesichert. Die Grundlagen für die Bemessung dieser Schutzwand konnten von der Uniqema trotz betriebsinterner Recherche nicht mehr nachvollzogen

werden, da die Wand schon seit Jahrzehnten besteht und keine Unterlagen mehr auffindbar sind. Die Hochwasserschutzwand ist in **Abbildung 6.5.3.1.2** zu erkennen.

**Abbildung 6.5.3.1.2**: Hochwasserschutzwand der Uniqema

Das Betriebsgelände muss durch die Schutzwände vor allem deshalb gesichert werden, weil verschiedene Lagertanks auf dem Betriebsgelände tiefer liegen als z. B. die Uferpromenade und daher zu schützen sind. **Abbildung 6.5.3.1.3** verdeutlicht den Geländeunterschied. Während der Kompressoranhänger sich in etwa auf Höhe der Uferstraße befindet, liegen die Tanklager ca. 1 m tiefer. Pumpen und Rohrleitungen wären im Falle einer Überschwemmung gefährdet.

**Abbildung 6.5.3.1.3**: Tief liegende Tanklager der Uniqema

### 6.5.3.2 Hochwasserschutzkonzept der Stadt Emmerich

Vor dem Hintergrund des Hochwassers aus dem Jahre 1995, bei dem Teile der Innenstadt überflutet wurden, wurde ein Hochwasserschutzkonzept für die Stadt Emmerich erarbeitet, das mittlerweile umgesetzt wurde. Das Schutzkonzept sieht im Wesentlichen eine stationäre Schutzwand im Bereich der Uferpromenade bis zum Hafen der Stadt vor. Die Industrieunternehmen, wie z.B. KAO Chemicals und die AKZO Chemicals, werden in diesem Hochwasserschutzkonzept nicht erfasst.

### 6.5.3.3 Defizitanalyse

In NRW wurde im Jahre 2004 die Bemessung von Hochwasserschutzanlagen für den Rhein im Regierungsbezirk Düsseldorf neu geregelt [Amtsblatt für den Regierungsbezirk Düsseldorf, 2004]. In **Tabelle 6.5.3.3.1** sind die Durchflussmengen für die verschiedenen Pegel zusammengefasst.

**Tabelle 6.5.3.3.1**: Bemessungsgrundlagen zum Hochwasserschutz am Niederrhein

| Pegel | Durchflussmenge [$m^3$/sec] | Bemessungshochwasser |
|---|---|---|
| Köln | 13.500 | $HQ_{200 - 300}$ |
| Düsseldorf | 13.500 | $HQ_{200 - 300}$ |
| Duisburg-Ruhrort | 14.800 | $HQ_{500}$ |
| Wesel | 14.800 | $HQ_{500}$ |
| Rees | 14.700 | $HQ_{500}$ |
| Emmerich | 14.500 | $HQ_{500}$ |
| zum Vergleich: Emmerich 1995 | 12.000 | |

Bei der Bemessung der Deiche und sonstigen Hochwasserschutzanlagen ist grundsätzlich noch ein Freiboardzuschlag von 1 m einzusetzen; im Bereich von Bergsenkungsgebieten (im Bereich 792,0 bis 823 km linkes Rheinufer, 792 bis 809 km rechtes Rheinufer) ist ein Freiboardzuschlag von 1,5 m zu berücksichtigen. Das führt in NRW zu Deichhöhen von 3 bis 13 m. Unterhalb von Wesel ist der Schutzgrad von $HQ_{500}$ bis auf wenige kritische Stellen bei Emmerich schon realisiert. Insgesamt ist festzustellen, dass entlang des Rheins vom zuständigen Regierungspräsidium unter-

schiedliche Schutzziele festgelegt wurden. Die festgelegten Schutzziele gelten allerdings nur für die öffentlichen Deiche und sonstigen Hochwasserschutzanlagen. Unternehmen haben im Rahmen ihrer Eigenvorsorge eigene Schutzmaßnahmen vorzusehen.

Die Uniqema hat aufgrund ihrer Lage mit dem Bau einer Hochwasserschutzwand ihre Anlagen im Sinne des § 3 StörfallV geschützt. Diese Maßnahme erfolgte schon von Jahrzehnten und hat ihre Eignung während zahlreicher Ereignisse, insbesondere während der Hochwässer 1993 und 1995, nachgewiesen. Die Betriebsbereiche der AKZO Chemicals liegen zwar geringfügig höher als die der Uniqema, dennoch musste im Jahr 1995 der Betrieb durch Sandsäcke geschützt werden. Ein Schutzniveau für ein $HQ_{500}$ wird bislang nicht erreicht. [9]

Die Durchsetzung eines bestimmten Hochwasserschutzniveaus auch für Betriebsbereiche und VAwS-Anlagen ist für die zuständigen Wasserbehörden auf der Basis der Erlasses des Regierungsbezirks Düsseldorf nicht ohne weiteres möglich und kann nach Auskunft des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) in Düsseldorf nur dann gefordert werden, wenn ein Betriebsbereich Ursache für ein Durchströmen ins Hinterland ist. Der Schutz der Betriebsbereiche selbst ist zunächst kein Grund zur Durchsetzung eines bestimmten Schutzniveaus. Es ist somit notwendig, dass z.B. von den immissionsschutzrechtlichen Genehmigungs- bzw. Aufsichtsbehörden Anforderungen für den betrieblichen Hochwasserschutz gestellt werden, damit ein technisch geschlossenes und einheitliches Schutzniveau für die öffentlichen Deiche und die Betriebsbereiche erreicht wird.

Im konkreten Fall Emmerich sieht das Hochwasserschutzkonzept der zuständigen Wasserbehörde die Errichtung einer Schutzwand vor, die exakt am städtischen Hafen endet. (**Abbildung 6.5.3.3.1**). Auf der anderen Seite des Hafens beginnt das Industriegelände mit den Produktionsanlagen der Akzo Chemicals sowie von KAO Chemicals. Hier ist keine Hochwasserschutzwand vorgesehen. Die Wasserbehörden haben derzeit praktisch keine Möglichkeit, auf den Betriebsgeländen der ansässigen Unternehmen Hochwasserschutzmaßnahmen zu verlangen. Es bleibt somit fraglich, ob das Hochwasserschutzkonzept im Falle eines extremen Hochwasserereignisses einen wirksamen Schutz bietet, wenn nicht gleichzeitig geeignete Maßnahmen von den Betrieben ergriffen werden.

[9] Ende 2005 wurden die Produktionsanlagen der AKZO Chemicals in Emmerich geschlossen.

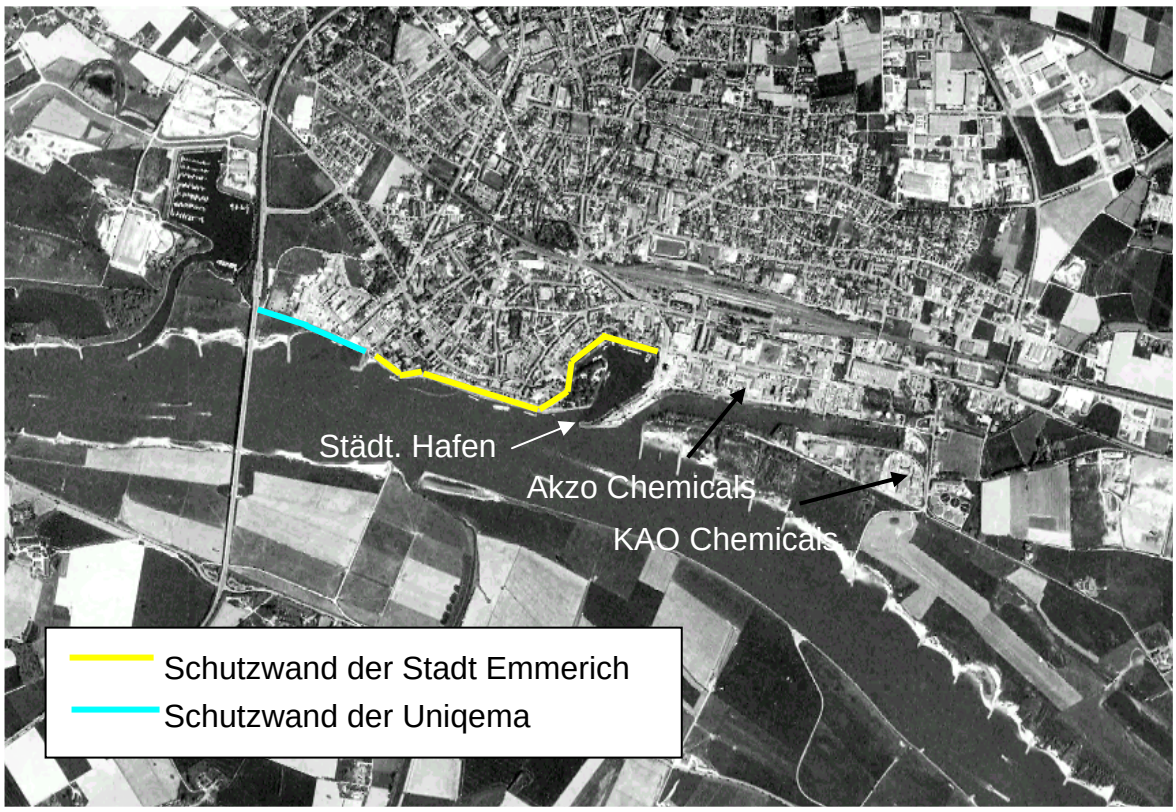



**Abbildung 6.5.3.3.1**: Hochwasserschutzkonzept der Stadt Emmerich

## 6.5.4 Hochwassergefährdung am Chemiestandort Leverkusen

### 6.5.4.1 Lage des Chemiestandortes

Der Chemiestandort in Leverkusen ist wie die **Abbildung 6.5.4.1.1** verdeutlicht, unmittelbar am Rhein gelegen.

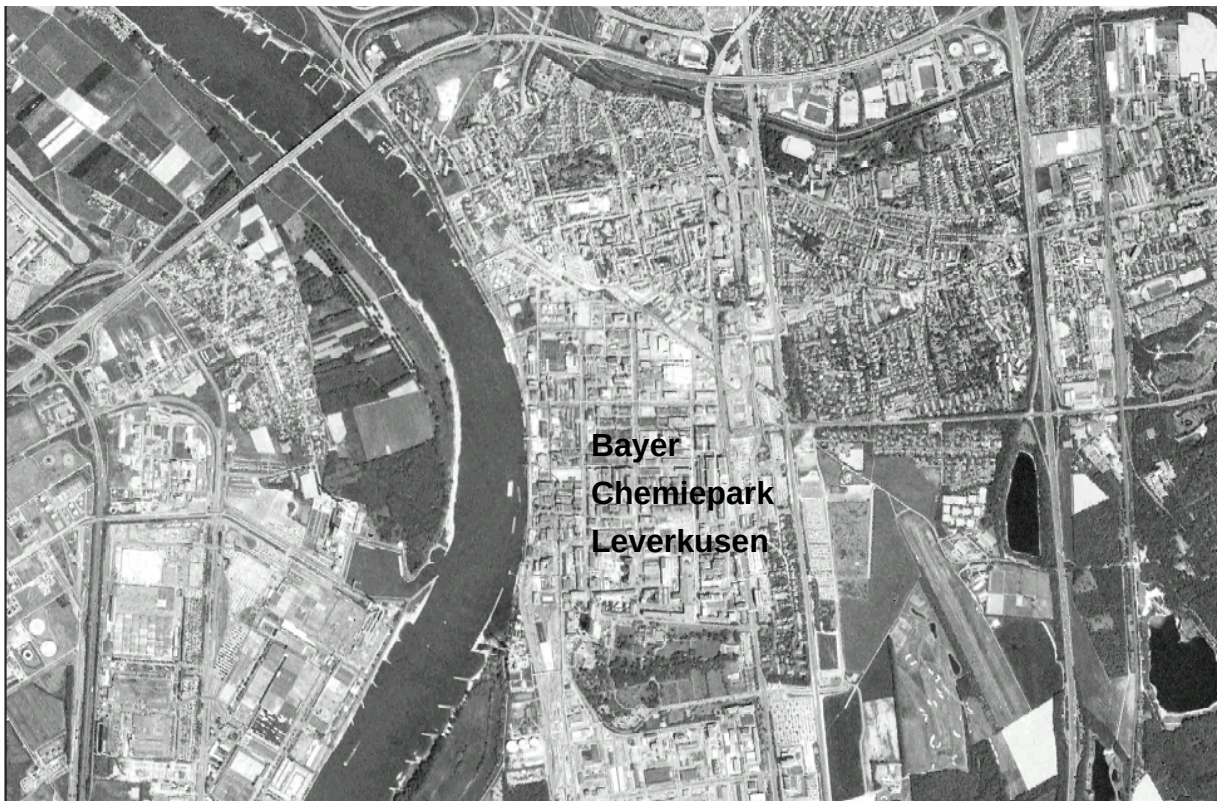



**Abbildung 6.5.4.1.1**: Bayer Chemiepark Leverkusen

### 6.5.4.2 Hochwasserschutzkonzept

Nachdem staatlicherseits nach den letzten großen Rheinhochwasserereignissen die Schutzziele neu definiert wurden, hat der Bayer Chemiepark Leverkusen seinen Hochwasserschutz mit dem Neubau von ortsfesten und mobilen Schutzwänden sowie durch ein Hochwasserpumpwerk auf ein 200jährliches Bemessungshochwasser erweitert. **Abbildung 6.5.4.2.1** verdeutlicht das Hochwasserschutzkonzept des Bayer Chemieparks Leverkusen.

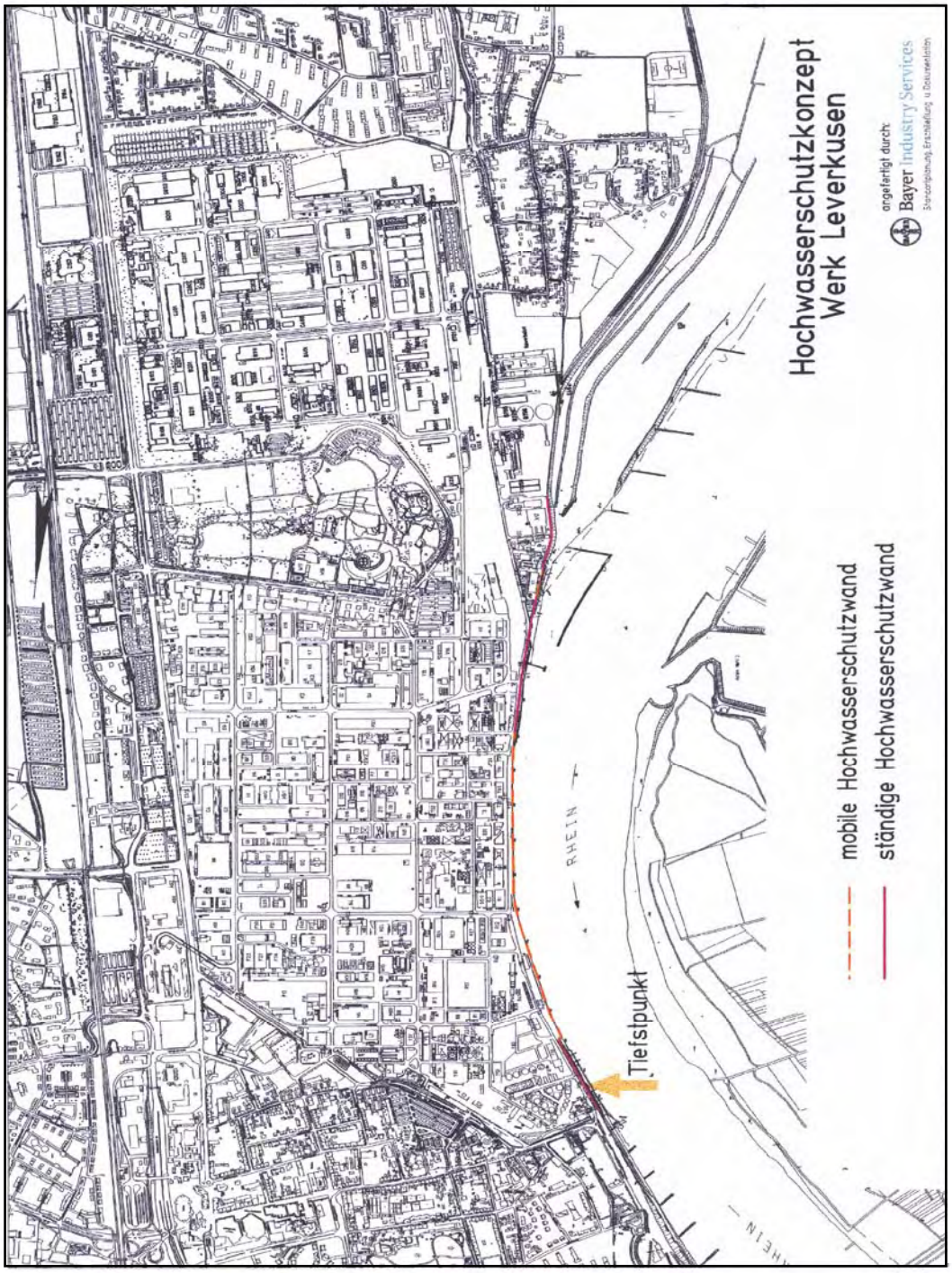



**Abbildung 6.5.4.2.1**: Hochwasserschutzkonzept des Baver Chemieparks. Leverkusen

Die Betriebsbereiche liegen nach den amtlichen Karten (Landesumweltamt NRW, 2001) nicht in einem Überschwemmungsgebiet. Ein schmaler Streifen am Rhein bzw. tiefer liegende Randbereiche des Geländes sind laut dieser Karten jedoch potenziell hochwassergefährdet. Für die relevanten Bereiche wurden seitens des Bayer Chemieparks Leverkusen in enger Abstimmung mit den zuständigen Dienststellen und mit lokal ansässigen Unternehmen detaillierte Schutzkonzepte und Maßnahmenkataloge für Notsituationen ausgearbeitet. Die Kosten beliefen sich auf ca. 4 Mio.

€. Auch ohne eine Schutzwand würde ein 200jährliches Hochwasser – wegen des ansteigenden Geländes – nur ufernahe Werksbereiche überfluten. Die Vorwarnzeiten für diesen Rheinabschnitt bieten i.a. mehrere Tage Zeit für organisatorische Maßnahmen. Die **Abbildung 6.5.4.2.2** zeigt ein Teilstück der stationären Hochwasserschutzwand unmittelbar am Rheinufer.

**Abbildung 6.5.4.2.2**: Teilansicht der stationären Hochwasserschutzwand

Zum Verständnis des Hochwasserschutzplanes wird zunächst die organisatorische Struktur zur Gefahrenabwehr am Chemiestandort Leverkusen erläutert. Grundsätzlich sind zunächst die Betriebe, die an diesem Chemiestandort angesiedelt sind, verantwortlich für den sicheren Betrieb ihrer Anlagen. Hierzu zählt auch die Erarbeitung der betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne nach einheitlichen Vorgaben. In ihnen sind unter anderem die Maßnahmen zum Abfahren der Anlagen sowie das sichere Lagern von Chemikalien bei Hochwasser dargestellt.

Im Gegensatz zum Chemiepark Bitterfeld gibt es für den gesamten Produktionsstandort eine übergeordnete Leitstelle, die alle Informationen über Vorkommnisse am Standort aufnimmt und bewertet, um je nach Erfordernis die notwendigen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu veranlassen. Grundlage hierfür bildet ein standortbezogener Alarm- und Gefahrenabwehrplan für den gesamten Chemiestandort. Auch für den Hochwasserschutz werden von dieser zentralen Leitstelle alle Maßnahmen, wie z.B. die Errichtung einer mobilen Schutzwand oder der Einsatz der Werksfeuerwehr, angeordnet. Von hier aus erfolgt die Kommunikation zu den Behörden einerseits so-

wie zu den Anlagenbetreibern anderseits. Die Kommunikationswege und -verbindungen haben sich aufgrund der langen Erfahrung eingespielt und bewährt. Ein unzureichender Informationsfluss von den Behörden zu der zentralen Leitstelle und umgekehrt ist nach Aussage von eines Mitarbeiters der Bayer Industry Services aufgrund der engen Zusammenarbeit zwischen der kommunalen Feuerwehr und der Werksfeuerwehr nicht zu erwarten.

Das Gesamtkonzept der Bayer Industry Services für den Standort sieht vor, auch bei Hochwasserereignissen, die den Bemessungsfall der technischen Maßnahmen ($HQ_{200}$) in geringem Maße überschreiten, eine Gefährdung auszuschließen. Für den Hochwasserschutz bis $HQ_{200}$ wird durch ein umfassendes Maßnahmenbündel gewährleistet:

1. Alarm- und Gefahrenabwehrplan

   Für den Bayer Chemiepark Leverkusen existiert ein umfangreicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan, der auch mit den zuständigen Behörden, insbesondere mit dem Regierungspräsidium in Köln etc., abgestimmt ist.

2. Alarm- und Gefahrenabwehrplan Hochwasser (AGAHW)

   Die Bayer Industry Services, die in Bezug auf die Sicherheitsorganisation für den gesamten Industriepark in Leverkusen verantwortlich ist, misst dem Hochwasserschutz eine hohe Bedeutung bei und hat daher – herausgelöst aus dem allgemeinen Alarm- und Gefahrenabwehrplan gemäß der 12. BImSchV – einen separaten Alarm- und Gefahrenabwehrplan für Hochwasser erarbeitet. Dieser ist straff gegliedert und ist ein vorbildliches Instrument bei der Gefahrenabwehr im Falle von Hochwasser.

   Er enthält im Einzelnen ausführliche Informationen über:

   - die Organisation
   - allgemeine Angaben zur Hochwasser- und Grundwassersituation im Bayer Chemiepark Leverkusen
   - Gefahrenabwehrkräfte und Einrichtungen mit Darlegung der Zusammensetzung, der Aufgabenstellung und der Funktionsbeschreibung. Dazu zählen im Einzelnen:
     - Technischen Einsatzleitung Hochwasser
     - Werkseinsatzleitung Hochwasser

- Infrastrukturdienste
- Umweltdienste
- Einsatzkräfte
- Einrichtungen und Ausrüstungen
- Alarmplan mit verschiedenen Hochwasserstufen, die einen Alarm in Abhängigkeit von dem erreichten Hochwasser am Oberlauf in Köln und in Leverkusen auslösen
- Warnungen für den Chemiepark
- Hilfeleistende Stellen außerhalb des Industrieparks
- Maßnahmen zum Schutz gegen Hochwasser mit einem umfassenden Maßnahmenkatalog
- Information der Behörden und der Medien / Auskünfte an die Bevölkerung
- Telefonverzeichnis

Desweiteren sind folgende Unterlagen beigefügt:

- die historischen Rheinwasserstände
- das Hochwasserschutzkonzept und
- ein Maßnahmenplan für die 2 Barriere
- diverse Pläne/Zeichnungen mit allen wichtigen Angaben über Bäume, und Wände (inkl. Höhen, Längen etc.)

3. Mobile Schutzwand

Zusätzlich zum Alarm- und Gefahrenabwehrplan Hochwasser wurde ein Hochwasserschutzkonzept für den Aufbau einer mobilen Schutzwand innerhalb von Stunden erstellt. Die mobile Schutzwand ist in insgesamt 24 Containern gelagert (**Abbildung 6.5.4.2.3**). Neben der eigentlichen Schutzwand befinden sich darüber hinaus auch Ausrüstungen, wie z.B. Werkzeug, Sicherheitsanzüge usw. in den Containern (**Abbildung 6.5.4.2.4**).

**Abbildung 6.5.4.2.3**: Vorhaltung der mobilen Schutzwand in 24 Containern

**Abbildung 6.5.4.2.4**: Vorhaltung verschiedener Ausrüstungsgegenstände

Im Ereignisfall werden die Container mit Spezialfahrzeugen an genau festgelegte und markierte ufernahe Positionen transportiert, damit von dort aus der schnelle Aufbau durchgeführt werden kann. Die markierten Positionen sind bei Hochwasser freizuhalten und dürfen durch Lastzüge oder andere Transportfahrzeuge nicht blockiert werden.

Neben der mobilen Schutzwand werden auch andere Materialien für notfallmäßige Verteidigungsmaßnahmen vorgehalten. Hierzu zählen Sandsäcke und Querschotts zur lokalen Begrenzung eines Wassereinbruchs. Mit Hilfe dieser

Materialen kann bei Versagen der ersten Verteidigungslinie (mobile Schutzwand), wie z. B. durch Treibgut, eine zweite Verteidigungslinie kurzfristig aufgebaut werden. Die zweite Verteidigungslinie orientiert sich an den vorhandenen Gebäuden, zwischen denen Sandsäcke aufgeschichtet werden können, um den Lückenschluss zwischen den Gebäuden zu realisieren.

Da lediglich der Werksbereich unmittelbar hinter den Schutzwänden am Rhein tiefer liegt und bei einem möglichen Wassereinbruch betroffen sein könnte, kann im Falle von extremem Hochwasser (< $BHW_{200}$) das vorgehaltene Material auch verwendet werden, um eine weiter zurückliegende 2. Barriere zu errichten, die dann einen höheren Hochwasserstand abdecken würde.

4. Bauliche Maßnahmen

Neben der Hochwasserschutzwand im Bereich der Hafenanlagen wurden stationäre Schutzwände (Spundwände) mit Freiboardzuschlag gebaut ($HQ_{200}$ + 20 cm), die in der **Abbildung 6.5.4.2.2** schon dargestellt wurden.

5. Ableitung von Kühlwasser, Oberflächenwasser und Abwasser

Das Oberflächenwasser sowie das Kühlwasser werden bei normalem Wasserstand des Rheins über Freispiegelleitungen in den Rhein abgelassen. Im Hochwasserfall werden diese Leitungen jedoch verschlossen. In diesem Fall wird das Oberflächenwasser sowie das Kühlwasser über leistungsstarke Pumpen aus dem Kanal angehoben und dann auf einem wesentlich höheren Niveau in den Rhein gefördert. **Abbildung 6.5.4.2.5** zeigt das Pumpwerk mit der oberirdisch geführten Rohrleitung, die das Wasser in den Rhein ableitet.

**Abbildung 6.5.4.2.5**: Pumpwerk mit Rohrleitung zur Ableitung von Oberflächenwasser und Kühlwasser in den Rhein

Unplanmäßig in diesem Reinabwasserkanalnetz im Hochwasserfall anfallende kontaminierte Abwässer (z.B. kontaminiertes Löschwasser) werden in großen Rückhaltebehältern aufgestaut und bei Abklingen des Hochwassers der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Behandlungsbedürftige Abwässer werden der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Für diesen Bereich gibt es ein eigenes Hochwasserschutzkonzept.

Im Gegensatz zum Chemiepark Bitterfeld können die Betriebe auf diese Weise ihre Produktion aufrechterhalten.

6. Übungen

Die Bayer Industry Services führt in regelmäßigen Abständen Übungen u.a. zum Aufbau der mobilen Hochwasserschutzwand durch. Hierbei wird nicht nur das Personal geschult, sondern auch der Zustand und die Vollständigkeit des Materials überprüft (**Abbildung 6.5.4.2.6**).

**Abbildung 6.5.4.2.6**: Aufbau der mobilen Hochwasserschutzwand am Chemiestandort Leverkusen

Neben diesen zentralen Elementen des Hochwasserschutzes wurde in weiteren Untersuchungen eines wasserbaulichen Ingenieurbüros laut Auskunft für den Bayer Chemiepark Leverkusen auch die mögliche Gefährdung des Geländes durch unkontrollierte Überflutungen über das Hinterland (Raum Köln) betrachtet. Dieser Fall kann nach den Untersuchungsergebnissen weitgehend ausgeschlossen werden.

#### 6.5.4.3 Defizitanalyse

Im Vergleich zu allen anderen Modellregionen ist festzustellen, dass der Bayer Chemiepark Leverkusen Vorbildcharakter hat. Dies ist sicherlich damit zu begründen, dass im Bayer Chemiepark Leverkusen zum einen eine langjährige Erfahrung mit Hochwasserereignissen vorliegt, zum anderen mit der Bayer AG ein Unternehmen mit zentralen Entscheidungsbefugnissen die erforderlichen Maßnahmen beschließen und durchsetzen kann. Obwohl die Bayer AG umstrukturiert wurde, bleiben die zentralen Funktionen zur Gefahrenabwehr erhalten (Bayer Industry Services). Jeder Chemieparkpartner ist in die bestehenden Strukturen zur Gefahrenabwehr eingebunden und verpflichtet diese zu akzeptieren und zu unterstützen.

Im Hochwasserschutzkonzept des Bayer Chemieparks Leverkusen ist unter den Gesichtspunkten der Organisation, der Kommunikationswege, des ausgearbeiteten Alarm- und Gefahrenabwehrplanes Hochwasser, der geschaffenen Logistik, der baulichen Maßnahmen sowie der Durchführung von Übungen keine Schwachstelle erkennbar.

Insgesamt ist nach den vorliegenden Informationen davon auszugehen, dass Überflutungen von größeren Betriebsbereichen aufgrund der Geländesituation und dieser Maßnahmen mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden können. Es kommt hinzu, dass eine Überschreitung des Bemessungsfalls der konstruktiv-technischen Maßnahmen (Schutzwände) nur möglich ist, wenn die Hochwassersituation flussaufwärts dies bedingt. Sollten bei einem Extremereignis im Oberlauf Überströmungen von Deichen stattfinden, ist mit Entlastungen zu rechnen.

## 6.6 Modellregionen in Sachsen-Anhalt

Das Bundesland Sachsen-Anhalt wurde neben Sachsen vom Hochwasser 2002 an der Elbe und an der Mulde am schwersten betroffen. Der Landkreis Bitterfeld und die Stadt Dessau stellten am 13. August 2002 den Katastrophenfall fest. Am 15. August 2002 folgten die Landeshauptstadt Magdeburg, die Landkreise Wittenberg, Anhalt-Zerbst, Köthen, Schönebeck, Ohrekreis, Stendal, am 16. August 2002 der Landkreis Jerichower Land.

## 6.6.1 Modellregion Chemiepark Bitterfeld/Wolfen

### 6.6.1.1 Lage des Chemieparks Bitterfeld/Wolfen

Die Region Bitterfeld ist eine stark industrialisierte Region, die überwiegend durch die chemische Industrie geprägt ist. Ursprünglich wurde Braunkohle in Bitterfeld abgebaut, wodurch die Energieerzeugung für die Industrieanlagen gesichert wurde. Sichtbare Hinterlassenschaften dieser Zeit sind die Tagebaurestlöcher um die Stadt Bitterfeld. Eines dieser Tagebaurestlöcher ist die Goitzsche, die sich, wie **Abbildung 6.6.1.1.1** zeigt, unmittelbar neben der Stadt befindet.

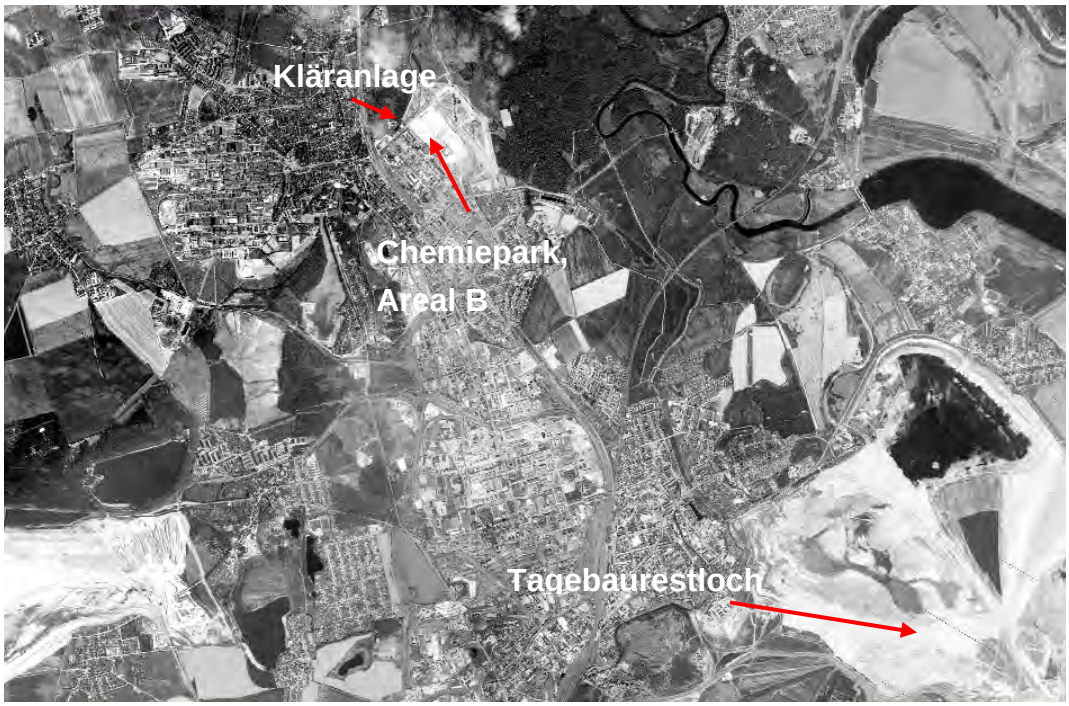



**Abbildung 6.6.1.1.1**: Luftbildaufnahme der Region Bitterfeld

Auf einer Fläche von insgesamt 1.200 ha erstreckt sich heute der Chemiepark Bitterfeld Wolfen, auf dem sich 350 Firmen bisher angesiedelt haben. Darunter sind Produktionsanlagen der Bayer Bitterfeld GmbH, der Linde AG, der Solvay Interox Bitterfeld GmbH, der Akzo Nobel Chlorelektrolyse sowie der Akzo Nobel Chemicals GmbH, die fast alle der Störfall-Verordnung unterliegen. Darüber hinaus befinden sich zahlreiche VAwS-Anlagen auf dem Gelände des Chemieparks. Der Chemiepark, insbesondere dessen Areal B, liegt nicht unmittelbar an der Mulde.

Als sich die Bayer AG entschloss, in Bitterfeld eine Produktionsanlage zu errichten, wurde auch eine Höhenvermessung des Geländes durchgeführt, weil bekannt war,

dass das Areal B in den fünfziger Jahren schon einmal überflutet war und das Kartenmaterial mit den Höhenangaben nicht aktuell war. Die Vermessung bestätigte, dass das Areal B im Vergleich zu allen anderen Arealen des Chemieparks am niedrigsten gelegen war. Zum Hochwasserschutz der zukünftigen Produktionsanlagen ließ Bayer daraufhin das Gelände um 1,60 Meter aufschütten. Diese Geländeerhöhung resultierte aus der Auswertung des höchsten historischen Hochwassers in diesem Bereich. Andere Grundlagen, wie z.B. eine Abflussmengenberechnung für die Mulde, gab es für Bayer zu diesem Zeitpunkt nicht. Der gesamte Werksbereich wurde von Bayer bewusst ohne Keller geplant.

Direkt neben dem Bayer Werk befindet sich das Gemeinschaftsklärwerk Bitterfeld Wolfen auf einem Gelände, das nicht aufgeschüttet wurde. Wie in **Abbildung 6.6.1.1.2** zu erkennen ist, wurden alle Behandlungsstufen als Hochbecken realisiert, so dass eine Überflutung der Behandlungsstufen ausgeschlossen ist.

**Abbildung 6.6.1.1.2**: Kläranlage Bitterfeld Wolfen

### 6.6.1.2 Hochwassersituation 2002

Das Bundesland Sachsen-Anhalt wurde neben Sachsen vom Hochwasser 2002 an der Elbe und an der Mulde am schwersten betroffen. Die Gefahrenlage und Schäden im Muldegebiet erreichten bisher nicht beobachtete Ausmaße. Extreme Abflüsse aus

dem Erzgebirge und viele Deichbrüche hinterließen entlang der Vereinigten Mulde auf sächsischem Gebiet eine Spur der Verwüstung. Deichbrüche vor und nach der Landesgrenze Sachsens zu Sachsen-Anhalt (Raum Bad Düben – Pouch) führten zur unkontrollierten Flutung des Tagebaurestloches Goitzsche (geschätztes Retentionsvolumen: 90 Mio. m³), mit einer erheblichen Entlastung für den weiteren Muldelauf, insbesondere auch für Teile des Chemieparks im Bereich Greppin-Wolfen. Durch den starken Anstieg des Goitzsche-Wasserspiegels gerieten Teile der Stadt Bitterfeld, wie z.B. das Krankenhaus, in akute Gefahr. Mehrere Stadtgebiete mussten evakuiert und aufwendig verteidigt werden. Eine Überflutung konnte lokal nicht verhindert werden.

Eine kurze Chronik zum Verlauf der Hochwasserereignisse liefert die DKKV-Studie [DKKV, 2003a] zur Katastrophe im Elbegebiet. An dieser Stelle werden nur die wesentlichen Ereignisse sowie deren Auswirkungen beschrieben.

Am 14.08.2002 brach oberhalb des Muldestausees der Deich. Das Wasser strömte mit hoher Geschwindigkeit in das nur wenige hundert Meter entfernt gelegene Tagebaurestloch Goitzsche. Die Deichbruchstelle sowie den Strömungsweg verdeutlicht **Abbildung 6.6.1.2.1** und **Abbildung 6.6.1.2.2**. Innerhalb weniger Stunden war das Tagebaurestloch geflutet. Die planmäßige Flutung des Restloches sollte über zwei Jahre über den markierten Kanal unterhalb der Muldestaumauer erfolgen. Geplant war ein Wasserspiegel von 75 m üNN.

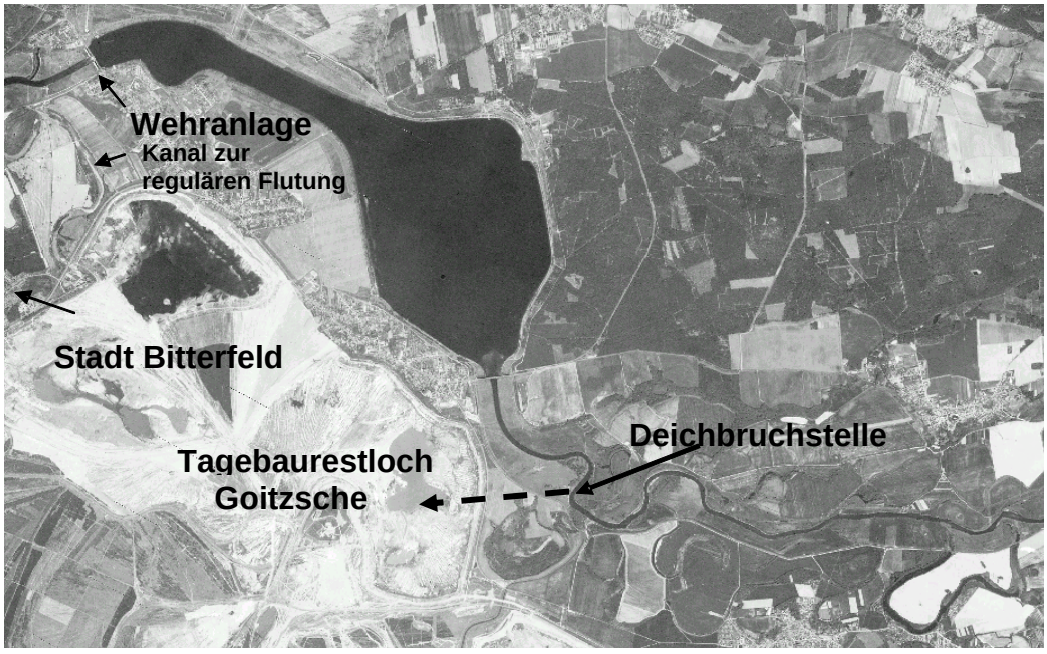



**Abbildung: 6.6.1.2.1**: Deichbruchstelle und Flutung der Goitzsche

**Abbildung 6.6.1.2.2**: Luftaufnahme des Deichbruchs (Foto: LMBV)

Am 21.8.2002 gegen 8:00 Uhr erreichte der Wasserstand mit 78,37 m üNN den höchsten Stand. Weil die Goitzsche keinen regulären Auslass hatte und stark angestiegen war, drohte eine Überflutung der Stadt Bitterfeld. Trotz der intensiven Bemühungen zum Schutz der Stadt im gesamten Gefährdungsgebiet wurden u.a. zwei Stadtteile überflutet.

Das aufgeschüttete Gelände der Bayer Bitterfeld GmbH war nicht davon betroffen (**Abbildung 6.6.1.2.3**). Die anderen Areale des Chemiestandortes liegen höher, so dass die Produktionsanlagen der Linde AG, der Solvay Interox Bitterfeld GmbH, der Akzo Nobel Chlorelektrolyse sowie der Akzo Nobel Chemicals GmbH nicht gefährdet waren. Obwohl die Produktionsanlagen des Chemieparks nicht betroffen waren, wurden alle Anlagen vorsorglich heruntergefahren. Das direkt der Bayer Bitterfeld GmbH benachbarte Gemeinschaftsklärwerk befindet sich auf einem nicht aufgeschüttetem Gelände. Die Folge war, dass Teile dieses Geländes überflutet wurden.

**Abbildung 6.6.1.2.3**:
Hochwasser vor der Bayer Bitterfeld GmbH

#### 6.6.1.3 Analyse der technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Schutz von Betriebsbereichen

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ist vor allem das Zusammenspiel zwischen den zuständigen Behörden sowie den ansässigen Betrieben von besonderer Bedeutung. In diesem Zusammenhang ist die betriebliche und organisatorische Struktur des Chemieparks zu beachten.

Im Gegensatz zu anderen Chemiestandorten, wie z.B. in Leverkusen, existieren in Bitterfeld keine übergeordneten Leitstellen, die bezüglich des Anlagenschutzes Maßnahmen beschließen bzw. auslösen können. Jeder Betrieb handelt nach eigenem Ermessen. So existiert auch kein übergeordneter Alarm- und Gefahrenabwehrplan. Bestimmte Serviceleistungen werden jedoch auch in Bitterfeld nach überbetrieblichen Gesichtspunkten durchgeführt. Hierzu zählen z.B. die Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Bereitschaft der privaten Feuerwehr (Securitas), die für einige der Ansiedler im Chemiepark den Status einer Werksfeuerwehr hat.

Während des Hochwassers im August 2002 wurde von der Geschäftsleitung der Bayer Bitterfeld GmbH ein Tagebuch geführt, in dem die Chronologie der Ereignisse dokumentiert ist. Darüber hinaus wurde nach den Ereignissen ein Resume gezogen, das wie folgt zusammengefasst werden kann:

1. Der interne Informationsaustausch zwischen dem Betrieb, dem Klärwerk, dem EVU sowie der PD Chemiepark Bitterfeld GmbH erfolgte problemlos.
2. Vom Hochwasser waren nur die Kläranlage Bitterfeld/Wolfen sowie eine Umschaltstation des EVU bedroht. Aus diesem Grunde wurden Maßnahmen für den Fall eines Ausfalls der Energieversorgung im Detail ausgearbeitet.
3. Kartenmaterial mit aktuellen Höhenangaben war nicht vorhanden. In das aus dem Jahre 1998 stammende Kartenmaterial waren veränderte geographische Daten nicht eingepflegt worden.
4. Verbesserungsmöglichkeiten für die betriebliche Telekommunikation sollen geprüft werden. Insbesondere ist die Erreichbarkeit der Leitstelle über das D-Netz zu verbessern und die Telefongespräche sind in das vorhandene Sprachaufzeichungssystem zu integrieren.
5. Die Erreichbarkeit der offiziellen Informationsstellen des Landkreises war ungenügend.

6. Einzig zuverlässige Informationsquellen zum Ereignisstand waren die Werksfeuerwehr, Bayer-Mitarbeiter vor Ort und Beobachter des Muldehochwassers.
7. Problematisch gestaltete sich die Erreichbarkeit des Bayer-Geländes.

Wegen der Überflutung des Kläranlagengeländes sowie wegen der Gefährdung eines Umschaltwerkes des EVU wurden am Standort Bitterfeld alle Anlagen vorsorglich abgeschaltet, obwohl dies im Einzelfall gar nicht erforderlich gewesen wäre, weil keine Produktionsanlagen akut vom Hochwasser bedroht waren.

In den verschiedenen Gesprächen mit Augenzeugen wurde vor allem der Informationsfluss des Landkreises kritisiert. Die Kritik wurde sowohl von den betroffenen Unternehmen als auch von der Geschäftsführung der Energieversorgung Industriepark Bitterfeld/Wolfen GmbH geäußert. Für den Chemiepark war die Energieversorgung von entscheidender Bedeutung, so dass der Krisenstab des Landkreises eigentlich Informationen über die Hochwassersituation der Energieversorgung Industriepark Bitterfeld/Wolfen GmbH (EVIP) hätte zukommen lassen müssen. Dies ist jedoch nicht geschehen [Cpforum spezial, 2002].

Unter Berücksichtigung der Ausnahmesituation sowie den Schwierigkeiten zur Koordination der verschiedensten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und Betriebseinrichtungen wurde der Informationsfluss vor allem dadurch gestört, dass die Telefonnummern der Leitstelle des Landkreises veröffentlicht worden waren. Über Telefon sollten den verschiedenen Einsatzkräften Anweisungen gegeben werden. Gleichzeitig sollte durch die Mannschaften vor Ort die Hochwasserzentrale über die aktuelle Situation informiert werden. Dieser Informationsfluss wurde durch die Veröffentlichung der Telefonnummern stark behindert und z.T. zum Erliegen gebracht. Durch die zahllosen Anrufe von Bürgern waren die Telefone vollkommen blockiert.

Das zweite Problem war das vorliegende Kartenmaterial. Es stellte sich als völlig veraltet heraus, weil die aktuellen Höhen des betroffenen Geländes der Region Bitterfeld nicht eingetragen waren. Deshalb konnte auch nur schwer abgeschätzt werden, welche Wege das Wasser nehmen würde.

Insgesamt ist festzustellen, dass in der damaligen Situation der Landkreis vorrangig bemüht war, die Gefährdung der Stadt Bitterfeld zu beherrschen. Deshalb wurden auch alle Kräfte gebündelt, um den Deichbruch bei Pouch zu schließen, gefährdete Stadtteile zu evakuieren sowie durch Aufschüttung von Sandsäcken das Überlaufen der Goitzsche zu verhindern. Zweifellos war die damalige akute Gefährdung der Be-

völkerung höher einzuschätzen als die Gefährdung von Betriebsbereichen und Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen.

#### 6.6.1.4 Analyse der betrieblichen Maßnahmen zum Schutz von Betriebsbereichen

Der Chemiestandort Bitterfeld/Wolfen ist eines der ältesten Industriegebiete in Deutschland. Aufgrund der langen Tradition sowie aufgrund der Hinterlassenschaft der deutschen Teilung sind bestimmte Bereiche des Grundwassers hoch kontaminiert. Allein aus diesem Grund wurden alle Neuanlagen ohne Keller gebaut, um ein Vorstoßen in den Grundwasserleiter zu vermeiden. Aus Sicht der Hochwasservorsorge ist dies von Vorteil, weil keine Anlagen hierdurch gefährdet sind. Die Anlagen bei der Bayer Bitterfeld GmbH sind zudem in adäquaten Höhen über Flur aufgestellt und somit zusätzlich gesichert.

Bayer Bitterfeld GmbH hat einen umfangreichen Alarm- und Gefahrenabwehrplan für das Werk erstellt, in welchem auch in besonderem Maße der Gefahr durch Hochwasser Rechnung getragen ist.

Es existieren 4 verschiedene Alarmstufen, je nach Hochwasserhöhe bzw. Überflutungsflächen. Es sind je nach Alarmstufe grundlegende Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bei unmittelbaren bzw. mittelbaren Auswirkungen vorgesehen. Diese beziehen sich auf organisatorische Maßnahmen, wie die Einberufung der Werkseinsatzleitung/Krisenstab oder den Einsatz von Beobachtern, sowie auf direkte materielle Maßnahmen, wie den Bau von Sandsackdämmen, das Verlagern von Fässern oder Gebinden oder auch die Sicherung von Behältern im Produktions- und Lagerbereich. Desweiteren wird der Beeinträchtigung bzw. dem Ausfall der Stromversorgung als auch der Beeinträchtigung bzw. dem Ausfall des Gemeinschaftsklärwerkes des Industrieparks im Falle von Hochwasser im Alarm- und Gefahrenabwehrplan Rechnung getragen.

Im Sicherheitsbericht ist erläutert, dass die relevanten Anlagenbereiche der Akzo Nobel Chemicals GmbH gegen Hochwasser konzipiert worden sind. Die Prozessstufen mit Chlorgas bzw. verflüssigten Chor sind auf Stützen hochgestellt, wie z.B. die Membrananlage und der Chlorverdichter. Darüber hinaus befinden sich Lagerbehälter in einer Tasse, die auf erhöhten Fundamenten aufgestellt sind. Im Gefahrenabwehrplan sind Gefahren durch Hochwasser daher nicht mehr im Detail dar-

gelegt worden. Nach Auslösen des Katastrophenalarms in Bitterfeld wurde jedoch sofort ein Konzept erarbeitet, um sich auf eine Hochwassergefährdung einzustellen. Als sich die Situation an der Goitzsche zuspitzte, wurden die Produktionsanlagen vorsorglich auf Stand-by-Modus heruntergefahren. Ein „Not-aus“ sollte auf jeden Fall vermieden werden. Auch wurden im Unternehmen Sandsäcke gefüllt und vor den Eingängen der Gebäude abgelagert, um die Produktionsanlagen und Büroräume zu schützen. Zugleich wurden auf dem Betriebsgelände gelagerte Gebinde höher gestellt [Cpforum spezial, 2002].

Ähnlich handelten die anderen Unternehmen im Chemiepark. So wurden in allen Unternehmen die Chemikaliengebinde höher gelagert und eventuell gefährdete Anlagenteile durch Sandsäcke gesichert. Darüber hinaus wurden betriebliche Krisenstäbe gebildet, die alle Entscheidungen trafen. So wurden beispielsweise die Produktionsanlagen vorsorglich heruntergefahren, weil die EVIP zeitweise nicht garantieren konnte, dass die Versorgung mit Strom und Dampf während der Krisenzeit stabil bleiben würde.

Genauer untersucht wurde die Chloralkalielektrolyse der Akzo Nobel Base Chemicals GmbH, der vormaligen Elektro-Chemie Ibbenbüren GmbH (ECI) am Standort Bitterfeld. Obwohl die Geschäftsleitung immer davon ausging, dass eine unmittelbare Bedrohung durch das Hochwasser nicht für die Chloralkalielektrolyse bestehen würde, wurde die Anlage zeitweise außer Betrieb genommen. Dies erfolgte einmal wegen der oben schon angedeuteten bedrohten Energieversorgung sowie vor dem Hintergrund der ohnehin schon instabilen Lage im Gesamtraum Bitterfeld. Zusätzliche Ängste in der Bevölkerung durch eine mögliche Gefährdung der Chlor-Produktion sollten auf jeden Fall vermieden werden. Es wurde ein Krisenstab von 20 - 40 Personen eingerichtet, dem neben Mitarbeitern der vormaligen ECI auch Vertreter anderer Industriefirmen des Chemiepark Bitterfelds und der umliegenden Gemeinden angehörten. In dem betrieblichen Krisestab wurde die aktuelle Lage dreimal täglich bewertet.

Es existierte ein interner Alarm- und Gefahrenabwehrplan der vormaligen ECI, der auch spezielle Anweisungen für den Fall eines Hochwassers enthielt. Diese bezogen sich im Wesentlichen auf die Risikosituationen:

- Ausfall Stromversorgung
- Flutung des Geländes
- Maßnahmen Produktion, Verladung, Lagerung von Produkten

- Maßnahmen Personal
- Maßnahmen Vertrieb
- Maßnahmen Rohstoffe und Versorgung
- Maßnahmen Errichten von Dämmen aus Sandsäcken

#### 6.6.1.5 Folgewirkungen des Hochwassers

Das Grundwasser ist durch die Flutung der Tagebaurestlöcher in einigen Bereichen deutlich angestiegen. Dies hat zur Mobilisierung von Schadstoffen aus den Altlastbereichen geführt. Es wurde festgestellt, dass der AOX–Wert in einigen Grundwasserbrunnen auf über 100 mg/l angestiegen ist. Mittlerweile wird das kontaminierte Grundwasser abgepumpt und in einer Anlage gereinigt.

#### 6.6.1.6 Hochwasserkonzept für die Mulde

Die Befürchtungen der lokal Betroffenen gehen in die Richtung, dass bei einem künftigen Extremereignis solchen Ausmaßes das große Retentionsvolumen der Goitzsche nicht mehr verfügbar ist. Sowohl bei Vertretern der Kommunen und des Landkreises als auch den ansässigen Unternehmen sind Unsicherheiten zur Lage spürbar, zumal nähere Einzelheiten erst im Laufe des Frühjahrs 2004 nach Abschluss der Vorplanungen und länderübergreifenden Abstimmungen bekannt wurden.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich auf die Frage der Gefährdung von Flächen des Chemieparks Bitterfeld Wolfen in diesem Gesamtkontext. Hiervon sind speziell das am nähesten zur Mulde liegende Areal B des Chemieparks sowie das Gemeinschaftsklärwerk (GKW) betroffen. **Abbildung 6.6.1.6.1** zeigt einen Ausschnitt des derzeitigen Hochwasserschutzkonzeptes für die Mulde. Deutlich ist die Deichsanierung sowie das Ende der derzeitigen Deichlinie am Areal B des Chemieparks erkennbar (vgl. Markierung). Der Muldestausee sowie der vorgelagerte Flutungspolder Rösa (auf dem Ausschnitt nicht mehr erkennbar) sollen für eine Spitzenkappung der Flutwelle beitragen.

**Abbildung 6.6.1.6.2** zeigt die Situation aus der Luft für das Areal B. Markiert ist auch hier das Ende der gegenwärtigen Deichlinie.

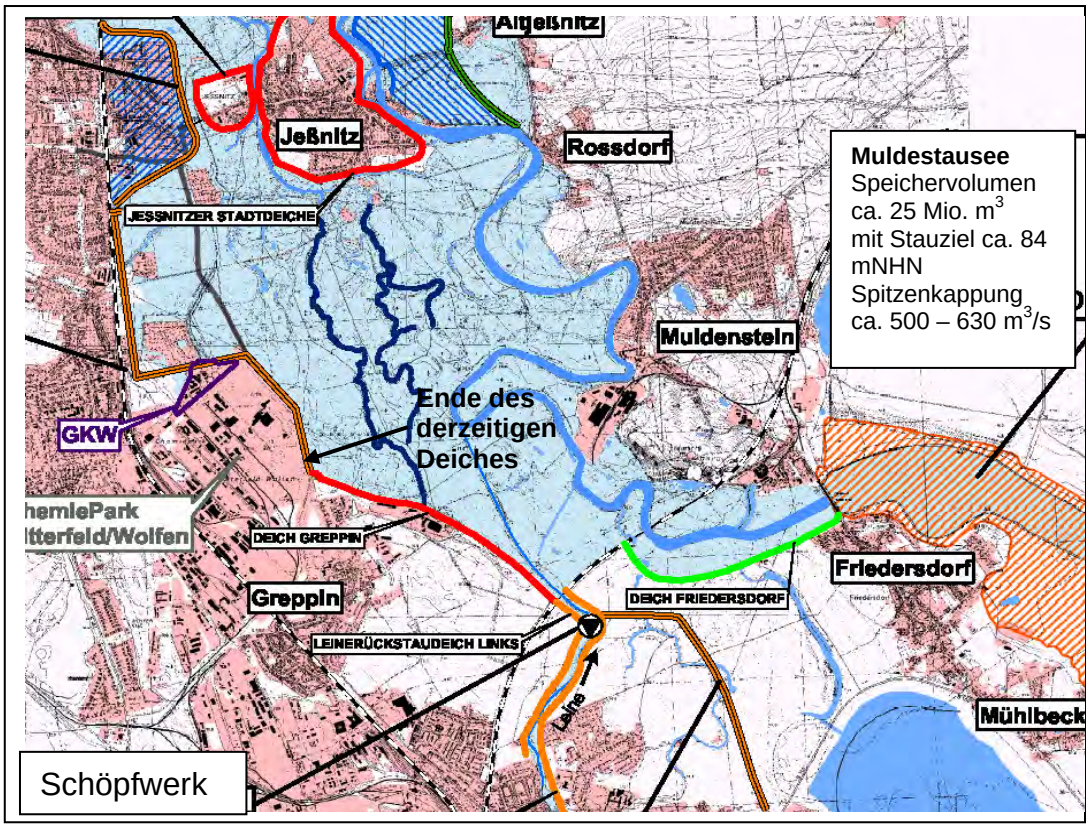



**Abbildung 6.6.1.6.1**: Ausschnitt aus dem Hochwasserschutzkonzept Mulde (2003)

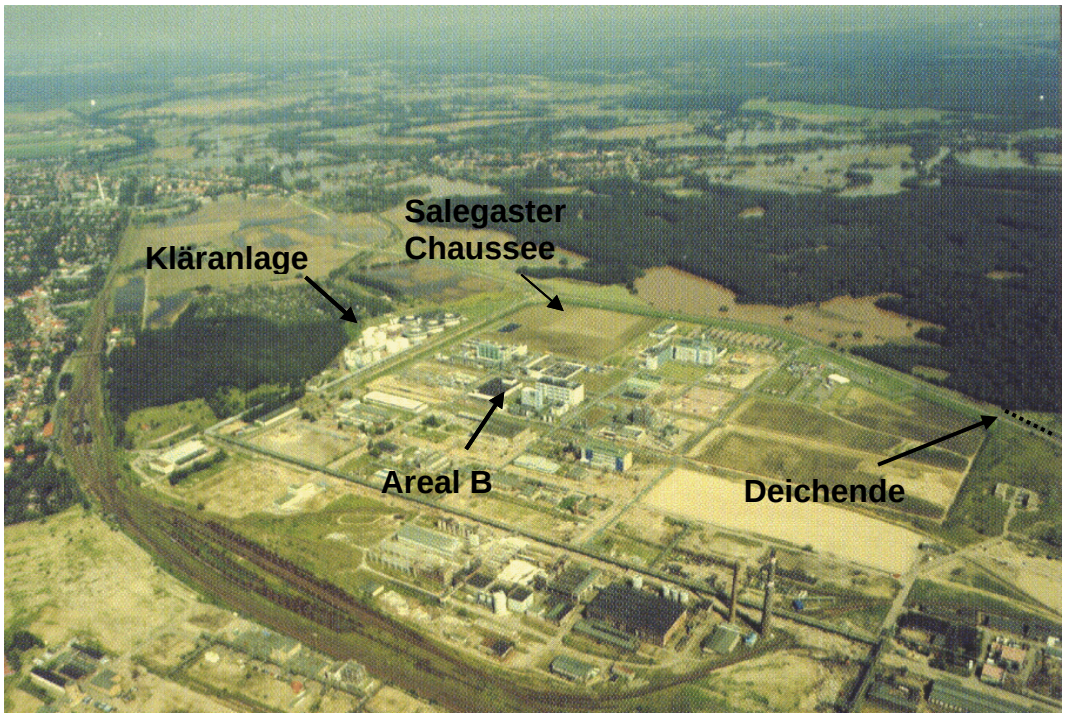



**Abbildung 6.6.1.6.2**: Luftaufnahme des Areals B des Chemieparks Bitterfeld

Das Areal B wurde, wie zuvor schon erläutert, in den 1990-er Jahren vor Ansiedlung der Firma Bayer um ca. 1,60 m aufgeschüttet, wobei man sich an dem historischen Maximalwasserstand der Mulde aus dem Jahr 1954 orientierte. Entlang des Areals B entlang der Werksgrenze der Bayer Bitterfeld GmbH – zur Seite der Mulde hin – verläuft auf gleichfalls erhöhtem Niveau die Salegaster Chaussee, wobei die Mulde hier mit rund 2-3 km eine breite Hochwasseraue besitzt. Dies ist prinzipiell vorteilhaft in Bezug auf den örtlichen Wasserstand. Beim Hochwasser 2002 wurde nach Aussagen bei Bayer ein Maximalwasserstand von etwa 50 -70 cm unter dem Niveau der Straße erreicht (vgl. **Abbildung 6.6.1.6.3**).

**Abbildung 6.6.1.6.3**: Situation an der Salegaster Chaussee: oben beim Hochwasser im August 2002

Das Gemeinschaftsklärwerk liegt dagegen auf niedrigerem natürlichem Geländeniveau und war 2002 mindestens 1 m unter Wasser. Dabei war in erster Linie die Stromversorgung der Anlage gefährdet; sie musste u.a. durch Sandsäcke am Trafohäuschen gesichert werden. Da die Kläranlage gemeinschaftlich von den ansässigen Betrieben und Kommunen genutzt wird, birgt sie bei einem möglichen Ausfall ein wirtschaftliches Risiko für Betriebe, die weiter entfernt und beim Hochwasser im Jahre 2002 hochwasserfrei lagen. Daher wurde vom Kläranlagenbetreiber das Trafohäuschen mit einer festen Mauer umschlossen, um eine erneute Hochwassergefährdung ausschließen zu können.

Zu dieser Gesamtsituation wurden im April 2004 spezifische Auskünfte beim Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt in Halle

eingeholt. Das im Entwurf vorliegende Hochwasserkonzept der Mulde konnte dabei ebenfalls eingesehen werden. Demzufolge kann hier eine weiterführende Darstellung der geplanten Maßnahmen erfolgen. Im Hochwasserkonzept Mulde Sachsen-Anhalt (Entwurf April 2004) stellt die o.g. Salegaster Chaussee im Bereich des Chemieparks die Grenze des Überschwemmungsgebietes dar. Noch teilweise im Umlauf befindliche Karten, die die Überschwemmungsgebiete von 1954 kennzeichnen, sind diesbezüglich veraltet. Es wird davon ausgegangen, dass die Salegaster Chaussee und damit das dahinter liegende Areal B – wie auch die Situation mit dem 2002 noch vorhandenen Freiraum gezeigt hat – auf Grund ihrer Höhe erst bei Überschreitung eines $HQ_{100}$ überflutungsgefährdet ist. Eine genauere Bewertung zu diesem Bereich sollte im direkten Kontakt zwischen den ansässigen Unternehmen und den zuständigen Behörden (LHW, Landkreis) erfolgen. Dabei sind insbesondere die Fragen der geplanten Maßnahmen im relevanten Flussabschnitt, des schlüssigen Anschlusses an den Greppiner Deich und des bei einem $HQ_{100}$ noch verfügbaren Freibordes entlang der Salegaster Chaussee zu klären (weiteres s.u.).

Demnach sieht das Hochwasserkonzept Mulde eine ganze Reihe von Maßnahmen im Oberlauf der Mulde vor, wobei hier nur das Gebiet in Sachsen-Anhalt behandelt wird. Sie betreffen gleichzeitig den gesamten Raum Bitterfeld bzw. Chemiepark.

Geplant sind u.a.:

- ein steuerbarer Flutungspolder bei der Ortschaft Rösa zur Spitzenkappung,
- eine Nutzung des Muldestausees zur Spitzenkappung,
- Deichschluss im Bereich der Landesgrenze zum Schutz der Tagebaurestlöcher Rösa und Goitzsche sowie
- Deichbaumaßnahmen im Bereich des Lober-Leine-Kanalsystems, das 2002 die unkontrollierte Flutung der Goitzsche und Gefährdung Bitterfelds mit beeinflusste.

Zu den geplanten Maßnahmen weiter unterhalb gehört eine Aufweitung des Überschwemmungsgebiets. Eine Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten, z.B. hinter Deichen, im engeren Sinne liegt derzeit nicht vor.

Im Bereich des Chemieparks wurden Deichbauarbeiten abgeschlossen, wobei der Greppiner Deich an der Salegaster Chaussee endet. Das Areal B des Chemieparkgeländes und das Gemeinschaftsklärwerk sind aktuell nicht eingedeicht. Dies bedeutet, dass derzeit auf einer Länge von 3,5 km von Greppin bis Wolfen entlang der

Salegaster Chaussee und um die Kläranlage herum keine technischen Schutzmaßnahmen existieren. Im Hochwasserkonzept Mulde ist dieser „Lückenschluss Wolfen“ durch stationäre und mobile Maßnahmen vorgesehen, technische Einzelheiten dazu sind im Projekt derzeit nicht bekannt.

#### 6.6.1.7 Defizitanalyse

Das neue Hochwasserschutzkonzept Mulde des Landes Sachsen-Anhalt sieht ein Bündel von Maßnahmen zum verbesserten Schutz der Bevölkerung und von Sachwerten vor. Das Konzept berücksichtigt die Erfahrungen des Augusthochwassers aus dem Jahre 2002. Welche Randbedingungen und Überlegungen zu diesem Konzept geführt haben, kann nicht im Rahmen dieses Forschungsvorhabens diskutiert werden. Insbesondere kann an dieser Stelle keine Bewertung von lokalen Einzelmaßnahmen – isoliert vom Gesamtkonzept Mulde – erfolgen. Langfristig entscheidend ist, dass sämtliche Flächen des Chemieparks rechtlich zwar außerhalb des festgesetzten Überschwemmungsgebietes liegen, eine Gefährdung bei Extremereignissen lokal aber grundsätzlich – vorbehaltlich genauerer Analysen – nicht ausgeschlossen werden kann.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens geht es um den Schutz von Betriebsbereichen und Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen, die vor umgebungsbedingten Gefahrenquellen zu schützen sind. Dies bedeutet, dass sich der Blickwinkel von einer überregionalen Planung eines oder mehrerer Länder hin zu einer lokalen betrieblichen Sichtweise verschiebt.

Die im Chemiepark ansässigen Unternehmen beklagten, dass sie in die Planungen zur Sicherung ihres Standortes bisher nicht oder nur sehr unzureichend einbezogen wurden. Das Hochwasserkonzept war zum Zeitpunkt der Untersuchungen (April 2004) den Unternehmen weder bekannt noch erläutert worden. Inzwischen sind Informationsveranstaltungen des Landesbetriebes für Hochwasserschutz Sachsen-Anhalt in Verbindung mit der unteren Wasserbehörde des Landkreises und der Gemeinde Greppin durchgeführt worden. Dabei ist den Ansiedlern Unterstützung für die Forderung nach einem Hochwasserschutz insbesondere für das Areal B („Lückenschluss Wolfen“) zugesagt worden. Vorstellungen zu einem Realisierungstermin bestehen derzeit noch nicht. Aus Sicht der Ansiedler ist der Schutz des Chemieparks und vor allem der Gemeinschaftskläranlage ein vorrangiges Schutzziel, das im Rah-

men der bisherigen Sicherungsmaßnahmen ausgespart wurde. Exakt am Areal B endet der neue Deich.

Die Unternehmen lehnen es ab, von vornherein eigene Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Aus ihrer Sicht ist für die Sicherung des Chemieparks und insbesondere des Gemeinschaftsklärwerkes als bedeutsame kommunale und industrielle Einrichtung der Kreis bzw. das Land zuständig. Diese Sichtweise wird vor allem auch vor dem Hintergrund vertreten, dass der Hochwasserschutz des Chemieparks eine im öffentlichen Interesse und im Interesse der Schaffung aber auch der Erhaltung von Arbeitsplätzen stehende politische Aufgabe sei. Dabei geht es insbesondere um die Frage, durch wen und welche vorbeugenden Maßnahmen dem sogenannten Restrisiko (d.h. der potenziellen Gefährdung etwa bei Überschreitung des $HQ_{100}$ oder bei einem Deichbruch) entgegen gewirkt werden kann.

Mittlerweile wurde das Problem so gelöst, dass der Lückenschluss durch die zuständigen Wasserbehörden geplant und durchgeführt, die Industrie sich jedoch an den Kosten beteiligen wird. Diese Einigung basiert auf der Tatsache, dass das Gemeinschaftsklärwerk sowohl die Abwässer des Industrieparks als auch kommunale Abwässer behandelt. Insofern handelt es sich bei der Hochwassersicherung des Klärwerks aus um eine gemeinschaftliche Aufgabe.

Aus den Erfahrungen aus dem Jahr 2002 sowie unter Berücksichtigung der derzeitigen Planungen ergeben sich mit Stand 2004 folgende Defizite:

1. Während des Hochwassers im Jahre 2002 war ein Informationsfluss von behördlicher Seite zu den Anlagenbetreibern im Chemieparks Bitterfeld i.d.R. nicht oder wenn überhaupt, dann nur unzureichend gegeben.

2. Es liegt kein übergeordneter Alarm- und Gefahrenabwehrplan des Industrieparks Bitterfeld vor. Erforderliche gemeinsame Planungen und organisatorische zusammenwirkende Maßnahmen sind nicht als Konzept vorhanden. Deshalb wurden und werden auch keine gemeinsamen Alarm- und Gefahrenabwehrübungen in der notwendigen Form durchgeführt.

3. Es existierte zum Zeitpunkt der Überprüfung Mitte 2004 kein übergeordneter externer Alarm- und Gefahrenabwehrplan (Katastrophenschutzplan) des Kreises unter Einbeziehung der Anlagenbetreiber des Chemieparks. In einem solchen Plan sind z.B. unterbrechungsfreie Kommunikationsverbindungen sowie die Vorhaltung von Hilfsmittel (z.B. Sandsäcke, Handys usw.) vorzusehen.

4. Das geplante Hochwasserschutzkonzept Mulde des Landes Sachsen-Anhalt ist den Anlagenbetreibern im Chemiepark unzureichend bekannt. Dies führt bei den wichtigsten Anlagenbetreibern (G7) zu Unsicherheiten bezüglich der Einschätzung ihrer momentanen und zukünftigen Gefährdungslage. Dies gilt insbesondere für den „Lückenschluss Wolfen“ zwischen Salegaster Chaussee und Eisenbahnlinie.

5. Welche Ereignisszenarien und Berechnungen den Überflutungskarten und Maßnahmenplanungen, insbesondere im Bereich des Areals B zugrunde liegen, ist in den Betrieben ebenfalls nicht bekannt. Insgesamt ist eine weiterführende Gefährdungsbetrachtung unter Einbeziehung der umliegenden Bereiche und auf der Basis von Berechnungen bzw. genaueren Daten (Wasserspiegel, Höhen, Geländestrukturen etc.) auch für weitere Bereiche des Chemieparks im Kontext der nach den Maßnahmen verbleibenden Gefährdung der Stadt Bitterfeld zu empfehlen. Dies ist als Versagensszenario der auf dem Stand der Technik bis 2006 bzw. teilweise 2010 geplanten Maßnahmen zu verstehen. Die Gesamtsituation sollte in jedem Fall räumlich sehr differenziert gesehen werden.

6. Wie unter Punkt 3 schon erwähnt, fehlte Mitte 2004 ein zwischen Chemiepark, Kreis und Stadt Bitterfeld abgestimmter Katastrophenschutzplan (Alarm- und Gefahrenabwehrplan). In diesem Zusammenhang ist auch die Frage zu klären, welche Objekte vorrangig zu schützen sind (s. auch Punkt 4, Gefahrenkarte). Hier sind Prioritäten zu setzen, bei denen der Schutz des Gemeinschaftsklärwerkes einen besonders hohen Stellenwert einnehmen sollte. Im August 2002 stand eindeutig der Schutz der gefährdeten Stadtteile im Vordergrund. Es ist im Rahmen eines Gefahrenabwehrmanagements zu klären, ob diese Rangfolge unter Berücksichtigung der Gefahrenpotentiale der Betriebsbereiche im Chemiepark Bitterfeld, des Hochwasserschutzkonzeptes Mulde des Landes Sachsen-Anhalt sowie einer ggf. noch durchzuführenden Betrachtung verschiedener Versagensszenarien beibehalten werden kann. Unter Bezugnahme der Auswirkungsbetrachtungen bei unterstellten Störfällen, wie diese in den Sicherheitsberichten sowie Alarm- und Gefahrenabwehrplänen von Betriebsbereichen, welche unter die erweiterten Pflichten nach der Störfall-Verordnung fallen, ist für solche u.U. durch Hochwasser ausgelöste Störfälle das Gefährdungspotential durch freigesetzte Schadstoffe i.d.R. erheblich größer einzustufen als direkt verursachte Schäden durch Hochwasser. Die Beantwortung dieser Fragen sollte auch Gegenstand eines übergeordneten Katastrophenschutzplanes (Alarm- und Gefahrenabwehrplanes) sein. Dieses

Thema wird in Folgekapiteln des Forschungsvorhabens noch stärker diskutiert. Im Sicherheitsbericht der Bayer Bitterfeld GmbH wurde das Thema Hochwasser und Hochwasserschutz umfangreich abgehandelt.

7. Die Zuständigkeit zur Hochwasservorsorge für das Gemeinschaftsklärwerk Bitterfeld/Wolfen war lange Zeit umstritten, weil sowohl die Industrie als auch die ansässigen Kommunen ihr Abwasser in der Anlage behandeln. Anlässlich dieses Forschungsvorhabens haben sich die Parteien zwischenzeitlich bezüglich der Kostenverteilung zum Schutz des Klärwerks geeinigt.

8. Was im Immissionsschutzrecht grundsätzlich fehlt, ist ein Hinweis zu den örtlichen Hochwasserschutzzielen, an denen sich die Betriebe orientieren können. Der Stand der Technik ist an diesem Punkt nicht konkretisiert. Die Bayer Bitterfeld GmbH hat aus dieser Not eine Tugend gemacht, indem sich die Planer an dem bis dahin höchsten jemals aufgetretenen Hochwasser orientiert haben. Im Rahmen der Eigenvorsorge wurde das Gelände nach den durchgeführten Vermessungen um 1,60 m aufgeschüttet.

## 6.6.2 Modellregion Dessau

### 6.6.2.1 Hochwasserereignisse im August 2002

Die Stadt Dessau liegt am Zusammenfluss von Mulde und Elbe. Aufgrund ihrer Lage ist die Stadt bei Hochwasserereignissen potentiell gefährdet. Daher wird die Stadt durch lange Deichanlagen und Hochufer geschützt. **Abbildung 6.6.2.1.1** zeigt das Überschwemmungsgebiet, die Deichanlagen und die Hochufer. Während des Hochwassers im August 2002 wurden einzig der Stadtteil Waldersee sowie Teile von Mildensee durch einen Deichbruch am Schwedenwall-Süd überflutet. Waldersee hat, wie **Abbildung 6.6.2.1.2** verdeutlicht, eine Insellage zwischen Mulde, Elbe und dem Scholitzer See. Aufgrund dieser besonderen Lage wurden andere Stadtteile nicht durch den Deichbruch am Schwedenwall in Mitleidenschaft gezogen.

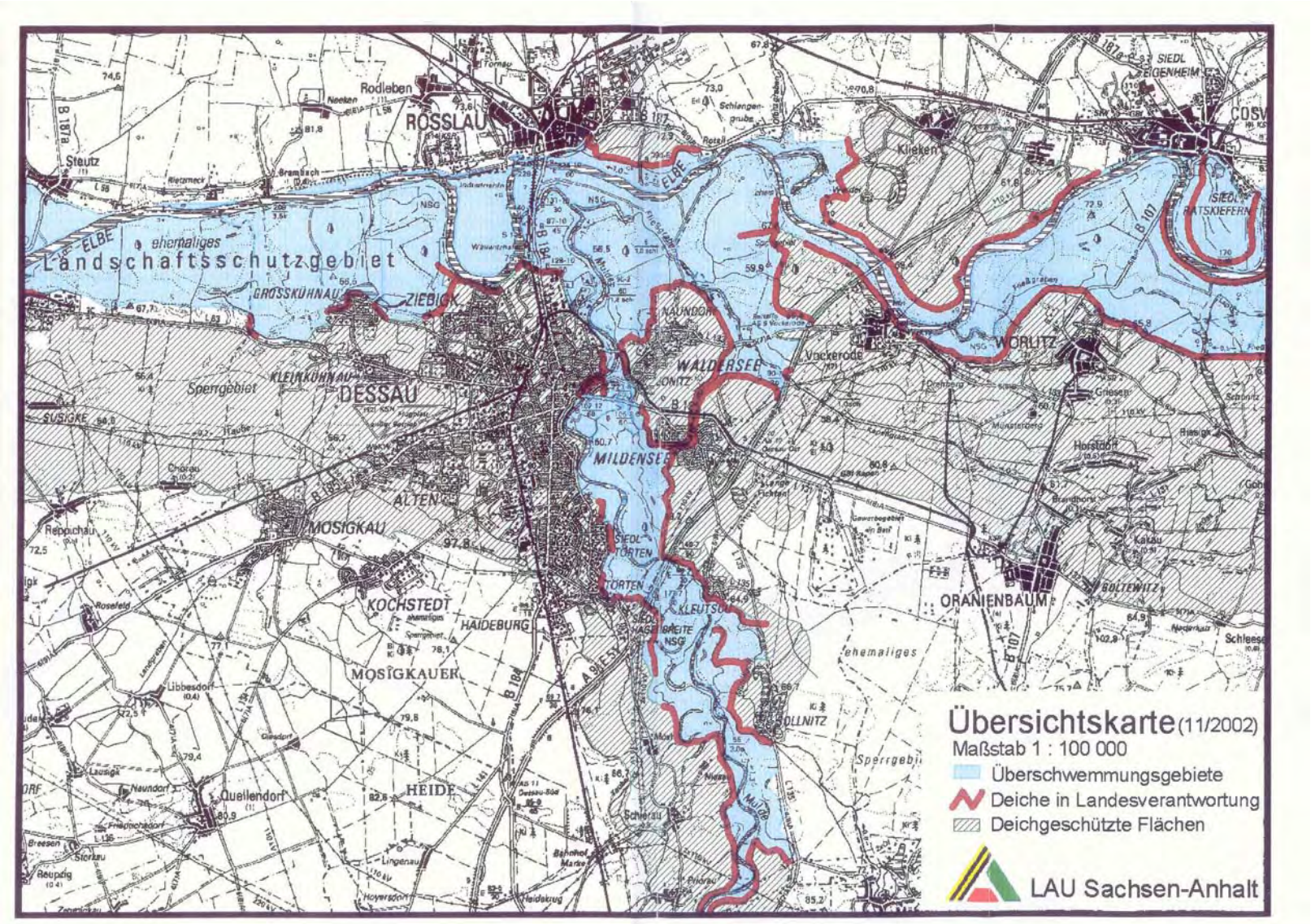



**Abbildung 6.6.2.1.1**: Deichanlagen und Überschwemmungsgebiete in der Region Dessau

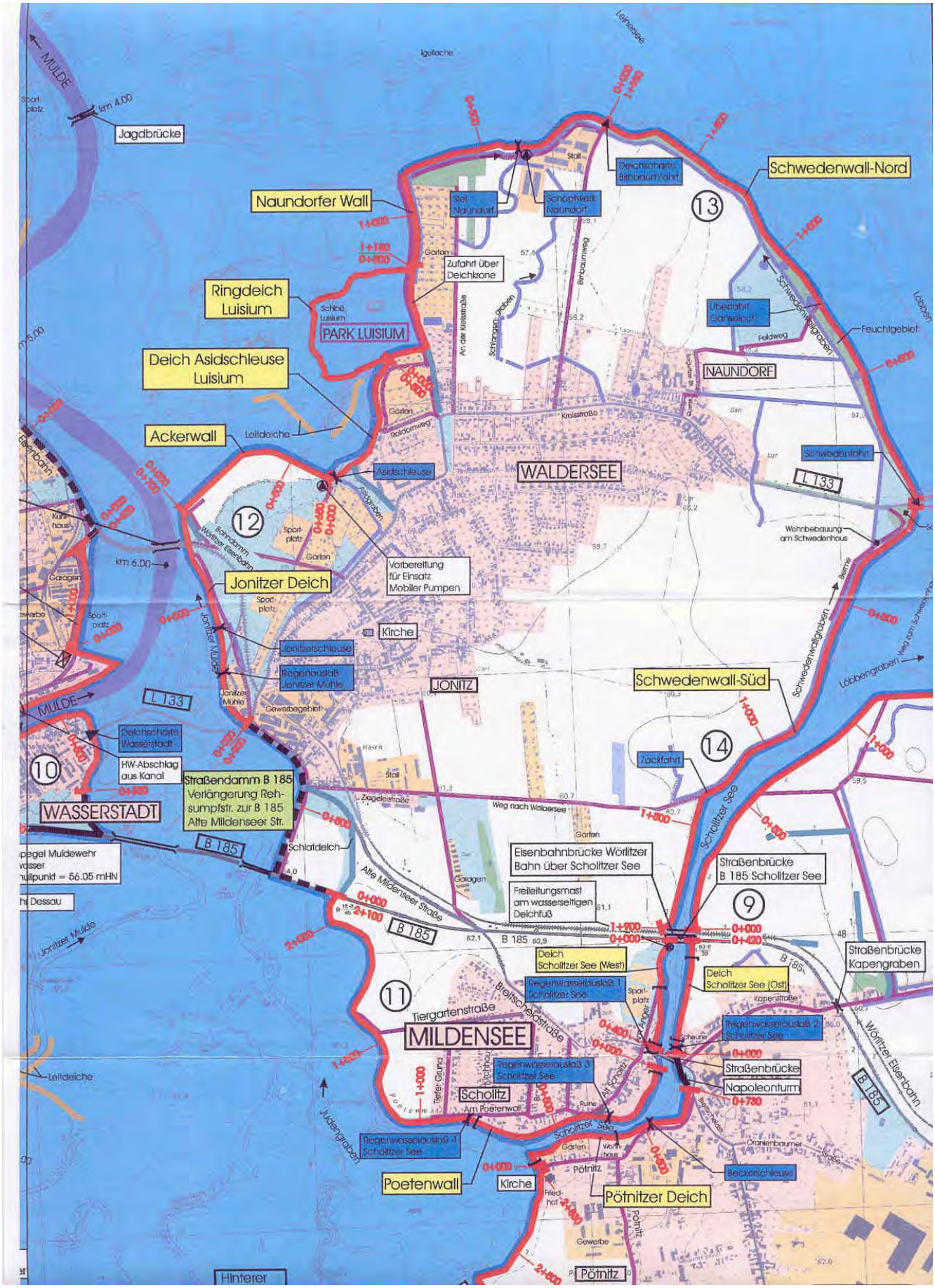



**Abbildung 6.6.2.1.2**: Lage der Stadtteile Waldersee und Mildensee

**Abbildung 6.6.2.1.3** zeigt eine Satellitenaufnahme des überschwemmten Stadtteils Waldersee nach dem Deichbruch am 18.8.2002. Deutlich erkennbar ist die Deichbruchstelle sowie Ölschlieren auf der Wasseroberfläche aufgrund der Zerstörung von Heizöltanks in den privaten Haushalten. Weil das Stadtgebiet mit Deichen umschlossen ist, gelangte das Öl auch nicht aus dem Kessel heraus. Anders als in Dresden wurde das Öl von der Strömung nicht fortgetrieben. Wie das Umweltamt der Stadt Dessau feststellte, lag im August 2002 der Bestand an Anlagen zum Lagern von Heizöl bei 196. Hiervon wurden 92% zerstört. Bei einer durchschnittlichen Füllung mit 4.000 l entspricht dies einer freigesetzten Ölmenge von 720.000 l Heizöl. Durch Auspumpen der Keller, in denen das Öl trieb, konnten nach Phasenseparation ca. 240.000 l zurück gewonnen werden.

**Abbildung 6.6.2.1.3**: Satellitenaufnahme von Waldersee nach dem Deichbruch

Unabhängig von rechtlichen Vorgaben sind die meisten Anwohner, unterstützt durch günstige Angebote durch die Stadtwerke, von Öl- auf Gasheizungen umgestiegen, so dass bis Juli 2004 nur noch 22 Anlagen zum Lagern von Heizöl in Waldersee

vorhanden waren. Von den insgesamt in Waldersee vorhandenen 192 Öltanks waren ca. 40 nicht angezeigt worden. Sie wurden erst durch die Hochwasserkatastrophe bekannt. Wie in Kapitel 3 schon dargestellt wurde, besteht für Anlagen der Gefährdungsstufe A, wozu private Heizölanlagen meist gehören, keine Genehmigungs-, sondern nur eine Anzeigepflicht, der aber nicht alle Anlagenbetreiber nachgekommen sind.

#### 6.6.2.2 Defizitanalyse

Die Stadt Dessau bemühte sich zum Zeitpunkt der Untersuchungen (2004), dass auch die letzten verbliebenen Anlagen zum Lagern von Heizöl so saniert werden, dass diese für Überschwemmungsgebiete geeignet sind. Bis dahin fehlte nach Aussagen des Umweltamtes jedoch die rechtlichen Grundlage. Ein erster Schritt wurde mittlerweile durch die Novellierung des Landeswassergesetzes [WG LSA, 2005] im Jahre 2005 vollzogen. Im § 98a wurde der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ eingeführt und die Grundlagen zu deren Festsetzung bestimmt. Es fehlt jedoch noch trotz Novellierung der VAwS im Jahre 2006 die Aufnahme von Anforderungen an Anlagen in „überschwemmungsgefährdeten Gebieten“ in die VAwS des Landes Sachsen-Anhalt [VAwS LSA, 2006]. Diese Problematik wurde am Beispiel der privaten Heizöltanks in Dessau untersucht, wobei sich die Anforderungen in der VAwS insgesamt auf Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen beziehen. Dies umfasst nicht nur die privaten Heizöltanks, sondern auch Anlagen der Industrie.

Erst unter diesen Voraussetzungen kann der behördliche Vollzug zur Umrüstung von VAwS-Anlagen eingreifen, wobei dann noch folgende Schwierigkeiten zu überwinden sind:

1. Es müssen zunächst die Gebiete festgestellt werden, die beim Versagen eines Deiches überschwemmt werden können. Die bislang vorliegenden Daten sind sehr grob und reichen nach Ansicht des Umweltamtes Dessau nicht aus. Das Rauminformationssystem des Landes hat Karten im Maßstab 1:50.000, was für die Feststellung des potenziellen überschwemmungsgefährdeten Gebietes nicht ausreicht. Notwendig ist eine Auswertung auf Basis von aktuelleren hochaufgelösten Höhendaten, z. B. durch Laserscanner-Befliegung, um ein genaues Bild über das zu betrachtende Gebiet zu erhalten. Vor allem sind auch jene Gebiete einzubeziehen, die im Jahr 2002 vor Überflutung geschützt blieben und in denen daher nicht, wie in Waldersee, Anlagen verstärkt umgerüstet werden.

Sowohl die Aufbereitung der Höhendaten als auch die Erarbeitung von Gefährdungskarten für verschiedene Szenarien des Deichversagens bzw. der potenziellen Überflutung wird jedoch einen größeren Aufwand erfordern.

2. Nach Feststellung des überschwemmungsgefährdeten Gebietes müssten die Anlagenbetreiber seitens der Behörden angewiesen werden, ihre Anlagen umzurüsten. Jede Anordnung würde auf einer Einzelfallentscheidung basieren, was im Falle der Stadt Dessau einen grossen Verwaltungsaufwand erfordert.

3. Weil für Heizöltanks nur eine Anzeigepflicht besteht, kann davon ausgegangen werden, dass die Lage zahlreicher Anlagen unbekannt ist, wie es sich schon im Stadtteil Waldersee erwiesen hat.

## 6.6.3 Modellregion Schönebeck (Elbe)

### 6.6.3.1 Lage der Hermania Schirm AG

Das Betriebsgelände der Firma Schirm AG Division Hermania liegt unmittelbar an der Elbe am nördlichen Rand der Stadt Schönebeck (**Abbildung 6.6.3.1.1**).

**Abbildung 6.6.3.1.1**: Luftbildaufnahme des Betriebsgeländes im Vordergrund und der Stadt Schönebeck im Hintergrund

Das Betriebsgelände steigt vom Werkstor hin zur Elbe um ca. 1 m an (Höhenlage 49,8 bis 50,6 m über NN). Es ist amtlich nicht als Überschwemmungsgebiet festgesetzt worden. Dies wurde vom Landesamt für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) im April 2004 auf Nachfrage bestätigt. Die Grenze des Überschwemmungsgebiets verläuft im Bereich der Böschung entlang der Betriebsfläche.

### 6.6.3.2 Produktion

Der Betrieb produziert Spezialchemikalien im Auftrage mehrerer großer Chemieunternehmen. Dies erfolgt durch Synthese organischer Verbindungen und deren Weiterbehandlung sowie Lagern von Pflanzschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln und chem. Produkten. Die Produkte werden in sogenannten Mehrzweckanlagen über insgesamt 3 Stockwerke hergestellt, die vor einigen Jahren nach dem neusten Stand der Technik errichtet wurden. Im bestimmungsgemäßen Betrieb können sich in den Lägern und der Syntheseanlage folgende Stoffkategorien mit möglichen maximalen Mengen befinden.

**Tabelle 6.6.3.2.1**: Stoffkategorien und Mengen

| **Stoffmerkmale / Einstufung** | | **Nr. nach Anhang 1 Spalte 1 der StörfallV** | **Maximal mögliche Lagermenge [t]** |
|---|---|---|---|
| T+ | Sehr giftig | 1 | 3736 * |
| T | giftig | 2 | 3786 * |
| N | Umweltgefährlich R50/53 | 9a | 5230 # |
| N | Umweltgefährlich R51/53 | 9b | 5230 # |
| hochentzündliche verflüssigte Gase | | 11 | 20 |
| * wenn die für T / T+ geeigneten Lagerbereiche nur mit T o. T+ belegt sind | | | |
| # wenn alle Lagerbereiche nur mit N belegt sind | | | |

### 6.6.3.3 Hochwasserereignisse im August 2002

Beim Augusthochwasser 2002 war das Betriebsgelände im Bereich der Produktionsanlagen, der Tankanlagen und im Hochregallager hochwasserfrei. Der Bereich der Zufahrtsstrasse sowie des Werkstores, der ca. 30 cm tiefer gelegen ist, war ebenfalls hochwasserfrei, aber stärker gefährdet.

Nach den Beobachtungen des Betreibers blieb das Hochwasser von der Elbeseite ca. 60 - 70 cm unter Geländeniveau. **Abbildung 6.6.3.3.1** zeigt, dass der Zaun etwa die Oberkante der Böschung markiert. Neben dem Zaun (zur Elbe hin) auf öffentlichem Grund wurde inzwischen ein befestigter Radweg gebaut.

Berücksichtigt man die 2002 aufgetretenen Deichbrüche im Oberlauf, vor allem im Raum Torgau-Wittenberg, die eine großräumige Absenkung der Scheitelwasserstände um etwa 15-18 cm mit sich brachten (Ihringer et al. 2002), so wäre das Gelände folglich auch ohne diese Effekte von Überflutungen verschont geblieben. Hinzu kommt, dass die Deiche am gegenüberliegenden Elbeufer geringere Höhen besitzen, so dass bei einer angenommenen Situation ohne Aufkadungen z.B. durch Sandsäcke dort eine maßgebende lokale Entlastung eingetreten wäre.

**Abbildung 6.6.3.3.1**: Hochwasserstand am Betriebsgelände am 17.08.2002 noch ca. 60 cm unter dem Maximum

Die Elbe ist – relativ zu ihren Zuflüssen aus dem Osterzgebirge - ein vergleichsweise langsam fließendes Gewässer, so dass die Vorwarnzeiten für betriebliche Maßnahmen mehrere Tage betragen. Die betrieblichen Maßnahmen zum Schutz der Betriebsbereiche und Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen während des Augusthochwassers 2002 können auf Basis eines Tagesbuches, das vom Betriebsleiter der Hermania Schirm AG geführt wurde, detailliert nachvollzogen werden. Wie schnell und umsichtig die Betriebsleitung während der Hochwasserereignisse reagierte, sollen die folgenden kurzen Auszüge belegen. Gleichzeitig wird deutlich, wie wenig abgestimmt die Maßnahmen von Seiten der Stadt durchgeführt wurden und damit den Betrieb in Schwierigkeiten brachten.

| | | |
|---|---|---|
| *Di. 13.08.* | *16.45 Uhr* | *Anruf vom Ordnungsamt Schönebeck: Warnung HW Stufe 3 wird ausgerufen, Pegelstände nicht einschätzbar.* |
| *Mi. 14.08.* | *07.30 Uhr* | *Anforderung an Firma M: Zulauf von der Elbe zu unserem Regenwassersystem abdichten.* |
| | *09.00 Uhr* | *Frührapport – Lagebesprechung – Maßnahmen*<br>*- Sofortiger Beginn der Auslagerung der Stoffe*<br>*- Brennbare Fertigerzeugnisse nach Leuna*<br>*- In sämtlichen Lägern wird alles mind. 1 m hochgestellt* |
| | *12.30 Uhr* | *Untere Wasserbehörde berichtet, dass nach ersten Berechnungen die Altstadt von Schönebeck unter Wasser stehen wird.* |
| | *14.00 Uhr* | *Beratung Mehrzwecksyntheseanlage: Alle Sachen sind in den nächsten 24 Std. zu sichern, wenn möglich neues Feststofflager räumen.* |
| | *16.30 Uhr* | *Telefonat mit LHWA: Kommende Nacht erste Welle aus der Mulde. Pretziener Wehr wird Do 8.00 Uhr gezogen. Wir haben sicher noch bis Freitag Zeit für Sicherungsmaßnahmen. Fr./Sa. bzw. Sa./So. werden Höchststände erwartet, die es bisher noch nicht gab.* |
| *Do. 15.08.* | *08.00 Uhr* | *Anforderung von Sandsäcken* |
| | *17.15 Uhr* | *Eintreffen der Sandsäcke* |
| *Fr. 16.08.* | *09.00 Uhr* | *Brandmeldeanlagen werden demontiert.*<br>*Landratsamt wir evakuiert – Auflaufen der Alarme nicht möglich.* |
| | *10.30 Uhr* | *Warnung von der Stadt: Verwaltungsgebäude kann bis 80 cm unter Wasser stehen* |
| | *13.00 Uhr* | *Trafostation wird mit Folie und Sandsäcken gesichert.* |
| | *18.00 Uhr* | *Abschluss der Auslagerung*<br>*- 5 LKW nach Leuna*<br>*- 14 LKW zum Chemiewerk*<br>*- 1 LKW Lübeck*<br>*- 1 LKW Braunschweig* |
| | *19.00 Uhr* | *Man baut auf der Geschw.-Scholl-Straße eine Barriere. Diverse Anrufe bei Stabstelle – warum keine Info. Entscheidung wurde woanders getroffen.* |
| | *bis 21.15 Uhr* | *sind alle Autos aus dem Gelände sowie Gabelstapler rausgeholt.* |

In den folgenden Tagen wurden die Pegelstände fortlaufend beobachtet und Reparaturen in einem Pumpenhaus durchgeführt.

Der kurze Auszug aus dem Protokoll zeigt, dass das Unternehmen nach der Alarmstufe 3 sofort mit der Räumung des Werksgeländes begonnen hat, ohne dass konkrete Berechnungen oder Abschätzungen von den Wasserbehörden vorlagen. Weil Teile der Stadt Schönebeck akut vom Hochwasser bedroht waren, wurde eine mobile Wand errichtet, die genau das Betriebsgelände der Hermania Schirm AG aussparte (**Abbildung 6.6.3.3.2**).

**Abbildung 6.6.3.3.2**: Mobile Hochwasserschutzwand in Schönebeck

Die Werksleitung wurde von der Durchführung dieser Maßnahme nicht informiert. Mit der mobilen Schutzwand war das Betriebsgelände für Fahrzeuge nicht mehr zugänglich, was zu erheblichen Auseinandersetzungen zwischen dem Katastrophenschutzamt und den Betriebsverantwortlichen führte. Hätte der Betrieb mit der Auslagerung der gefährlichen Stoffe abgewartet, bis genauere Informationen eingetroffen wären, wäre nach Errichtung der mobilen Schutzwand diese Maßnahme nicht mehr durchführbar gewesen. Im Falle einer Überflutung des Geländes wäre durch die mobile Schutzwand die Gefahr einer Freisetzung von gefährlichen Stoffen erhöht worden.

Darüber hinaus offenbart das unkoordinierte Vorgehen einen unzureichenden Informationsfluss. Hierbei ist sicherlich zu berücksichtigen, dass das Landratsamt selbst geräumt werden musste, so dass der Informationsaustausch auch durch diese

Tatsache beeinträchtigt war. Die mobile Schutzwand wurde von der Stadt Schönebeck veranlasst.

### 6.6.3.4 Analyse der technischen Maßnahmen zum Schutz von Betriebsbereichen und Anlagen für wassergefährdende Stoffe

Die Hermania Schirm AG hat ihren Kanal zur Elbe durch ein spezielles Verschlusssystem (**Abbildung 6.6.3.4.1**) gesichert. Es handelt sich hierbei um eine Klappe, die durch Anziehen mehrerer Schrauben den Kanal verschließt. Auf diese Weise kann bei Hochwasser kein Wasser über die Kanalisation zum Betriebsgelände der Hermania Schirm AG in Schönebeck gelangen. Umgekehrt kann das Abwasser auch nicht mehr das Firmengelände verlassen, so dass ggf. die Produktion herunterzufahren ist.

**Abbildung 6.6.3.4.1**: Abdichtungssystem im Kanalschacht der Hermania Schirm AG, Schönebeck

Die Produktionsanlagen der Hermania Schirm AG sind nach dem neuesten Stand der Technik errichtet worden. Das Thema Hochwasser und Hochwasserschutz wurde im Sicherheitsbericht ausreichend abgehandelt. **Abbildung 6.6.3.4.2** zeigt ein Tanklager für wassergefährdende Stoffe. Die Tankanlage liegt ca. 60 cm höher als das Geländeniveau und ist vorschriftsmäßig mit einer Aufkantung versehen. Die Behälter sind in die Lagersättel hinein gelegt worden, wobei letztere mit dem Fundament verschraubt sind.

**Abbildung 6.6.3.4.2**: Lagerbehälter für wassergefährdende Stoffe

Entsprechend den Empfehlungen der IKSE liegen die Lagerbehälter oberhalb der $HQ_{100}$ Wasserlinie. Die Behälter sind zudem mit den Betonfundamenten verschraubt, wie die **Abbildung 6.6.3.4.3** zeigt.

**Abbildung 6.6.3.4.3**: Verschraubung der Lagersättel

Ein anderes Tanklager ist in den **Abbildungen 6.6.3.4.4** und **6.6.3.4.5** dargestellt. Auch diese Anlagen sind zur Auftriebssicherung fest mit dem Betonfundament verschraubt. Die Verschraubung ist pro Tank für eine Auftriebskraft von > 15 t ausgelegt und ausreichend.

**Abbildung 6.6.3.4.4**: Tanklager

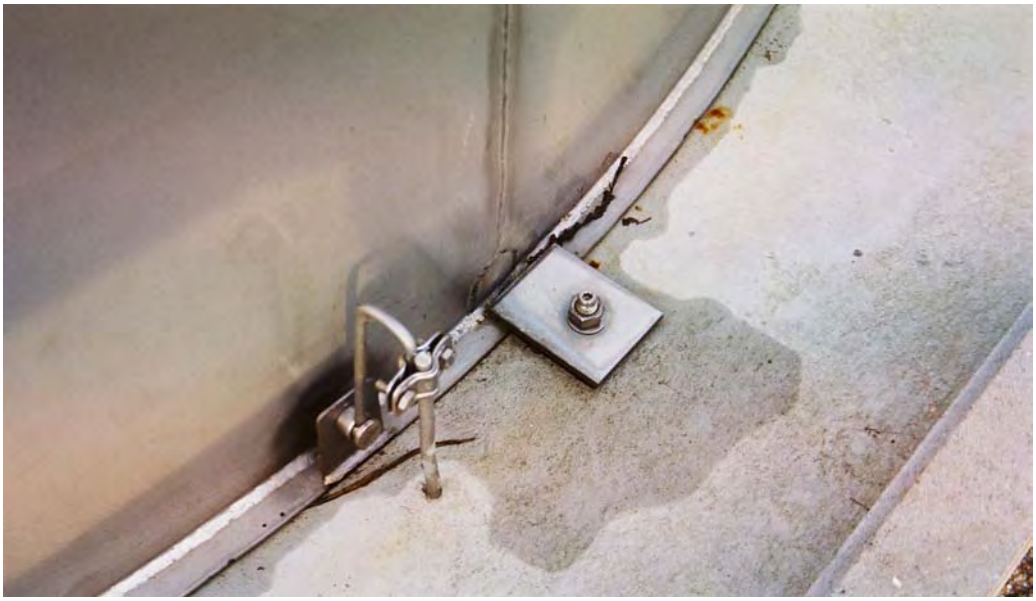


**Abbildung 6.6.3.4.5**: Sicherung eines Tanks gegen Aufschwimmen

### 6.6.3.5 Betrieblicher Alarm und Gefahrenabwehrplan

Im Sinne der Störfall-Verordnung wurde von der Hermania Schirm AG ein Alarm und Gefahrenabwehrplan erarbeitet. Dieser Alarm- und Gefahrenabwehrplan (AGAP) umfasst alle notwendigen Erfordernisse:

- Detailliertes Alarmierungs- und Meldesystem für alle erdenklichen Störungen, Vorkommnisse oder Störfälle unter Einbeziehung aller verantwortlichen internen und externen Kräfte
- Aufgliederung in vier Alarmstufen analog der vormaligen 3. StörfallVwV
- Vorschriften zum Handlungsablauf für den verantwortlichen Bereitschaftsdienst

Die vorgesehenen technischen und organisatorischen Maßnahmen berücksichtigen auch eine mögliche Gefährdung durch Hochwasser. Der AGAP wurde nach 2002 auch unter dem Aspekt einer größeren Hochwassergefährdung fortgeschrieben.

Der Werks-Alarm- und Gefahrenabwehrplan liegt der Kreisverwaltung vor. Im Rahmen einer routinemäßigen Feuerwehrübung stellte sich jedoch heraus, dass dieser der Feuerwehr nicht bekannt war. Offenbar wurde der Plan vom Kreis nicht an die Dienststellen der Feuerwehr weiter geleitet. Darüber hinaus ist der betriebliche Alarm- und Gefahrenabwehrplan bislang nicht in den übergeordneten Katastrophenschutzplan (Alarm- und Gefahrenabwehrplan) des Kreises eingeflossen. Wie die Verantwortlichen des Chemiebetriebes erläuterten, hat es vor 9 Jahren die letzte umfassende Besprechung zwischen den verschiedenen Dienststellen der Behörden, der Feuerwehr und dem Betrieb gegeben. Eine Koordinierung, Abgleichung oder gar eine Erprobung dieser Pläne hat es seitdem nicht mehr gegeben.

#### 6.6.3.6 Einschätzung der Hochwassergefährdung der Hermania Schirm AG

Eine Karte der überschwemmungsgefährdeten Gebiete in diesem Raum liegt nach den Erkundigungen offenbar nicht vor. Potenziell kann auch nach Auskunft des LHW eine Überflutung des Geländes jedoch nicht ausgeschlossen werden. Dies liegt auch an der besonderen Lage im Flusslängsschnitt.

Die Datensituation zur Hochwassergefährdung ist schwierig, da in dieser Elbestrecke sehr komplexe Randbedingungen vorliegen. Schönebeck liegt nach dem Zusammenfluss von Elbe, Mulde und Saale sowie nach der Stromaufteilung am Pretziener Wehr, das die Stadtstrecke Magdeburg bei Hochwasser entlastet. Sie zählt zu den hydrologisch schwierigsten Bereichen im Elbelängsschnitt. Aktuelle Berechnungen zu Hochwasserabflüssen und Hochwasserständen, speziell mit der Nachrechnung

des Hochwassers aus dem Jahre 2002, liegen vor. Es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf.

Für eine genauere Beurteilung der Hochwassergefährdung des Betriebsgeländes, auch im Hinblick auf die Zukunft, sind folgende Informationen besonders relevant:

- Deichhöhen am gegenüberliegenden Elbufer
- Zuflusssituation bei großen Hochwässern charakterisiert durch den Pegel Barby und durch den Betrieb des Pretziener Wehres flussaufwärts
- resultierende Wasserstände am Standort
- Höhenverhältnisse/-unterschiede auf dem Betriebsgelände und daraus ableitbare Gefahrenbereiche, vor allem in den tiefer liegenden Randbereichen
- Szenarienüberlegungen bezüglich der Gefährdung von der Binnenseite im Falle einer Überflutung tiefer liegender Stadtbereiche

In diesem Kontext sind weiterhin wichtig:

- der Informationsaustausch mit dem Landkreis und kommunalen Dienststellen zu deren offiziellem Kenntnisstand zur Lage, speziell auch im Hinblick auf wasserwirtschaftliche Handlungsstrategien und Maßnahmen im Oberlauf, mit ggf. sich ergebenden abflussmindernden bzw. -verschärfenden Effekten, sowie
- Abstimmung und Einbindung des Betriebes in kommunale Gefahrenabwehrpläne, ggf. mit Nutzung des neu angelegten öffentlichen Radwegs zwischen Elbevorland und Betriebsgelände als befestigte Verteidigungslinie (z.B. durch Aufbau eines mobilen Schutzes), ebenso wie die Frage einer möglichen (intern oder extern notwendigen) Verteidigungslinie entlang der Zufahrtstraße zum Betriebsgelände.

Im Ereignisfall (bei anlaufendem Hochwasser) ist – wie 2002 – die Hochwasserlage im Oberlauf aufmerksam zu verfolgen, vor allem die Vorhersage und Durchsage der Pegelstände in Dresden (im groben Vergleich mit dem Maximum 2002 von 940 cm), um frühzeitig erste Vorbereitungen treffen zu können. Regional maßgebend ist aber, ob sich die Lage durch gleichzeitiges Hochwasser an den Zuflüssen (Mulde, Saale) eventuell zuspitzt. Als Orientierungswert ist der vorhergesagte Pegelstand in Barby heranzuziehen und die Öffnung des Pretziener Wehres zu beachten.

#### 6.6.3.7 Defizitanalyse

Aus den Erfahrungen aus dem Jahr 2002 sowie unter Berücksichtigung der derzeitigen Planungen ergeben sich folgende Defizite:

1. Während des Hochwassers im Jahre 2002 war anfänglich ein Informationsfluss zu der Hermania Schirm AG gegeben. Mit der Räumung des Landratsamtes wurde dieser Informationsfluss unterbrochen. Die Sicherung einiger Stadtteile Schönebecks mit Hilfe einer mobilen Schutzwand wurde von der Stadtverwaltung Schönebeck veranlasst, ohne die Verantwortlichen der Hermania Schirm AG zu informieren. Der Schutz der Bevölkerung hatte offenbar Vorrang vor dem Schutz des Betriebes. Nur durch das frühzeitige konsequente Handeln der Verantwortlichen des Betriebes konnte eine Erhöhung des Gefährdungspotentials durch Freisetzung gefährlicher Stoffe verhindert werden.

2. Der übergeordnete Katastrophenschutzplan (Alarm- und Gefahrenabwehrplan) des Kreises ist nicht mit dem Alarm- und Gefahrenabwehrplan der Hermania Schirm AG abgestimmt worden. Der Feuerwehr war das Gefahrenmanagement des Betriebes nicht bekannt.

3. Neben der Sicherung der Betriebsbereiche ist vor allem auch die Sicherung der Zufahrtswege von Bedeutung, wenn, wie im Falle der Hermania Schirm AG, Gefahrstoffe vorsorglich abtransportiert werden sollen.

## 6.7 Modellregionen in Sachsen

### 6.7.1 Auswahl der Modellregionen

Die Auswahl der Modellregionen in Sachsen erfolgte auf der Basis des Hochwasserereignisses im August 2002. Sachsen war neben Sachsen-Anhalt in Deutschland am stärksten von diesem Extremereignis betroffen. Wie in den Kapiteln 6.3.3 und 6.3.4 schon dargestellt wurde, unterscheidet sich die Flusscharakteristik der Elbe grundsätzlich von denen ihrer Nebenflüsse aus dem Erzgebirge. Bei der Auswahl der Modellregionen wurde daher ein Bereich mit „Überflutungsgefährdung bei geringer Fließgeschwindigkeit“ (Elbe) und ein zweiter Bereich mit der Kombination „Überflutung plus hohe Fließgeschwindigkeit“ (Müglitz) berücksichtigt.

## 6.7.2 Modellregion Dohna

Unter dem Gesichtspunkt einer hohen Fließgeschwindigkeit und unter Berücksichtigung der Lage von VAwS-Anlagen wurden die Anlagen der Fluorchemie in Dohna für eine Betrachtung ausgewählt. Die Anlagen dienen der Herstellung von Fluorwasserstoff und enthalten ein Lager sowohl dieses Produktes (120 t) als auch von Schwefelsäure (200 t) und Oleum (100 t) mit 25 % freiem $SO_3$.

### 6.7.2.1 Örtliche Lage der Fluorchemie in Dohna

Dohna liegt an der Müglitz, die, wie vor beschrieben, während der Augustereignisse 2002 aufgrund der topographischen Verhältnisse zu einem reißenden Gewässer wurde. **Abbildung 6.7.2.1.1** zeigt den Ort Dohna mit dem Verlauf der Müglitz bis zur Mündung in die Elbe. Die während des Augusthochwassers betroffene Produktionsanlage ist in der Abbildung gekennzeichnet.

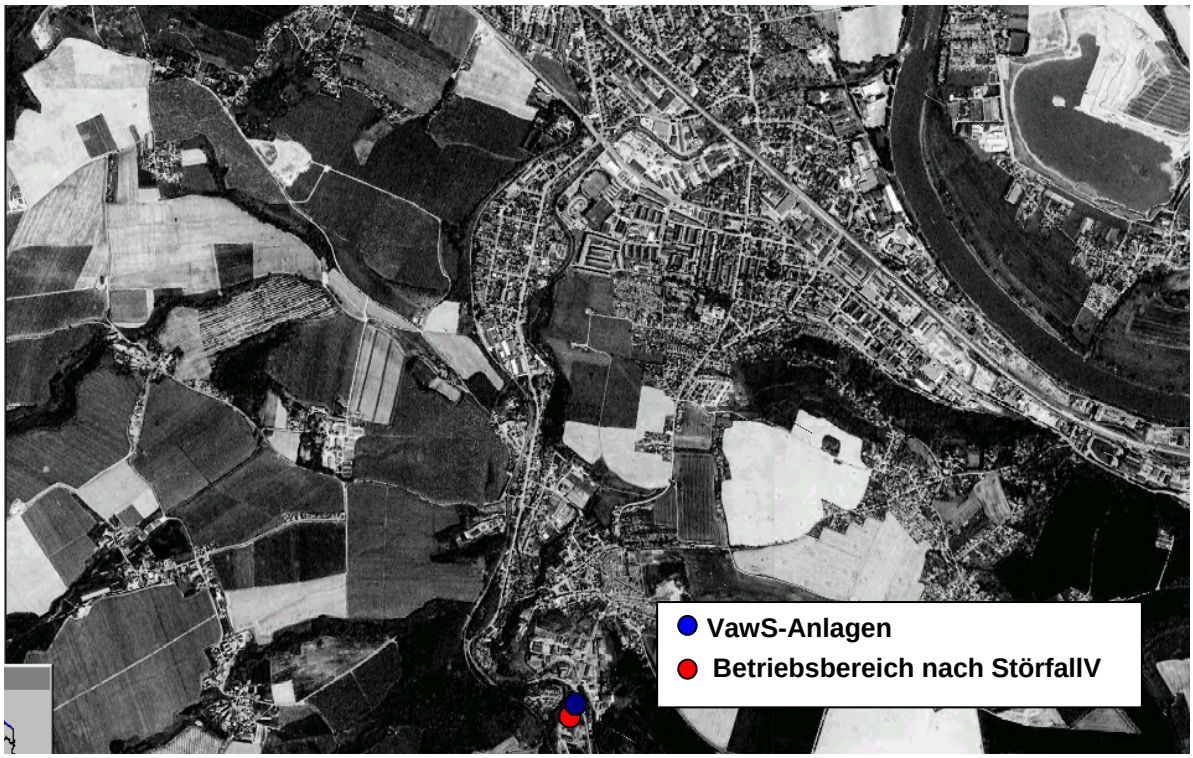



**Abbildung 6.7.2.1.1**: Luftaufnahme von Dohna mit dem Mündungsgebiet der Müglitz in die Elbe

### 6.7.2.2 Produktionsanlagen der Fluorchemie

In der Produktionsanlage der Fluorchemie wird in kontinuierlicher Fahrweise mineralischer Flussspat $CaF_2$ mit Schwefelsäure $H_2SO_4$ zu Fluorwasserstoff HF und Anhydrit $CaSO_4$ umgesetzt:

$$CaF_2 + H_2SO_4 + \Delta E \rightarrow 2\,HF + CaSO_4$$

Als sicherheitstechnisch relevante Stoffe gemäß der Störfall-Verordnung werden Fluorwasserstoff und Oleum gehandhabt und gelagert. Nebenreaktionen, die zu anderen sicherheitsbedeutsamen Stoffen führen können, treten nicht auf.

Der in feinkörniger Form vorliegende Flussspat wird in einem Vorreaktor mit flüssiger Schwefelsäure vermengt und das Gemisch anschließend in einem Drehrohrofen erhitzt. Der bei der Reaktion entstehende Fluorwasserstoff wird im Unterdruck als Gas aus dem Ofen abgezogen. Zurück bleibt Anhydrit im Ofen als weißes Pulver.

Nach einer Vorreinigungsstufe zur Abtrennung von Schwefelsäuretröpfchen und Staub wird das HF-Gas durch Kühlung zu einer Flüssigkeit kondensiert. Das HF-Gas wird kondensiert, gereinigt und in einem isolierten Lagerbehälter zwischengelagert. Über eine Verladestation wird HF in Eisenbahnkesselwagen abgefüllt.

Der neben Fluorwasserstoff anfallende Anhydrit kann weiter verwendet werden. In einer parallel verlaufenden Nebenreaktion entsteht Kieselflusssäure aus dem im Flussspat enthaltenen Quarz nach folgenden Gleichungen:

$$SiO_2 + 4\,HF \rightarrow SiF_4 + 2\,H_2O$$
$$SiF_4 + 2\,HF \rightarrow H_2SiF_6$$

Diese wird bei der Auswaschung mit Wasser in Waschtürmen als verkaufsfähiges Nebenprodukt erzeugt. Sonstige nicht verwertete Gase werden in einem Zentralwäscher ausgewaschen.

Der gesamte Reaktionsteil der Anlage steht unter 2 mbar Unterdruck, um zu vermeiden, dass eventuell über Undichtigkeiten Fluorwasserstoffgas in die Atmosphäre treten würde.

Der Kondensationspunkt des reinen Fluorwasserstoffes liegt bei +19,8°C. Die Lagerung des flüssigen Fluorwasserstoffs erfolgt drucklos bei Temperaturen von -5°C in

isolierten Behältern. Die Solekreislaufpumpen, der Drehrohrofenantrieb, die Mess- und Regelungstechnik und alle umweltrelevanten Komponenten wie Erdgasventilatoren sind auch an eine Notstromversorgung, die über einen Notstromgenerator gespeist werden kann, angeschlossen.

Die Anlage unterliegt der Störfall-Verordnung. Das Thema Hochwasser und Hochwasserschutz wurde im Sicherheitsbericht ausreichend abgehandelt, wobei sich das Unternehmen auf eine langjährige Erfahrung mit Hochwasser stützen konnte. Stoffe und Stoffmengen mit Wassergefährdungsklassen und R-Sätzen sind in **Tabelle 6.7.2.2.1** aufgeführt:

**Tabelle 6.7.2.2.1**: Stoffe und Stoffmengen der Fluorchemie

| **Bezeichnung der Stoffe** | Nr. nach Anhang I der 12. BImSchV | vorhandene Menge in t | WGK | R-Sätze |
|---|---|---|---|---|
| Oleum | 10a | 207 | 2 | 14–35–37 |
| Ammoniak | 2 | 6 | 2 | 10-23-34-50 |
| Fluorwasserstoff | 1 | 304 | 1 | 26/27/28-35 |
| Fluorwasserstoffsäure (unterschiedliche Konzentration) | 1 | 383 | 1 | 26/27/28-35 |
| Wasserstoffperoxid (35 Gew.%) | | 1 | 1 | 22-37/38-41 |
| Propan (in Druckflaschen) | 11 | 0,1 | | 12 |
| Acetylen (in Druckflaschen) | 14 | 0,3 | | 5-6-12 |
| Sauerstoff (in Druckflaschen) | 34 | 0,35 | | 8 |

### 6.7.2.3 Hochwasserereignisse im August 2002

Während des Augusthochwassers stieg der Wasserstand innerhalb weniger Stunden stark an und die Müglitz führte große Mengen an Treibgut mit sich. Das Einzugsgebiet der Müglitz erstreckt sich über 2 Landkreise, den Weißeritzkreis sowie die Sächsische Schweiz. Im Bereich des Schlossparks Weesenstein lagerte sich soviel Geröll und Schutt ab, dass das Flussbett zugeschüttet wurde. Als besonders kritisch erwiesen sich die Brückendurchlässe, die durch das Treibgut teilweise blockiert wurden. In Ergänzung zu den starken Niederschlagsmengen brach ein Hochwasserrückhaltebecken oberhalb von Glashütte, so dass sich zusätzlich über 50.000 m³ Wasser in die Müglitz ergossen. Zwei Menschen starben, zahlreiche Häuser sowie die Infra-

struktur (Brücken, Straßen, Eisenbahn, Energie- und Wasserversorgung, Telefonnetz) wurden zerstört. Am 13.8.2002 wurde der Hochwasserscheitel mit etwa 390 $m^3/s$ erreicht.

Als besonders kritisch hat sich die Tatsache erwiesen, dass die Bevölkerung nicht rechtzeitig gewarnt wurde [DKKV, 2003a; v. Kirchbach et.al., 2002]. Das Ausrufen des Katastrophenalarms erfolgte nicht aufgrund von Wetter- bzw. Hochwasserwarnungen, sondern aufgrund der sich vor Ort einstellenden Abflussverhältnisse. Auch die Betriebsleiter der Fluorchemie selbst erfuhren erst durch telefonische Anrufe von Mitarbeitern, welche stromaufwärts wohnen, von der drohenden Gefahr. Die Produktionsanlagen wurden daraufhin vorsorglich abgefahren. Eine behördliche Warnung gab es nach Aussage des Anlagenbetreibers nicht.

**Abbildung 6.7.2.3.1** zeigt eine Übersichtskarte zur Hochwassersituation 2002 an der Müglitz im Bereich der Fluorchemie Dohna GmbH. Darin sind mit „1“ und „3“ zwei Brücken und das seinerzeit vorgelagerte Köttewitzer Wehr gekennzeichnet, die aufgrund ihrer Wirkung als Engstelle eine große Bedeutung für die Betriebsfläche („2“) hatten.

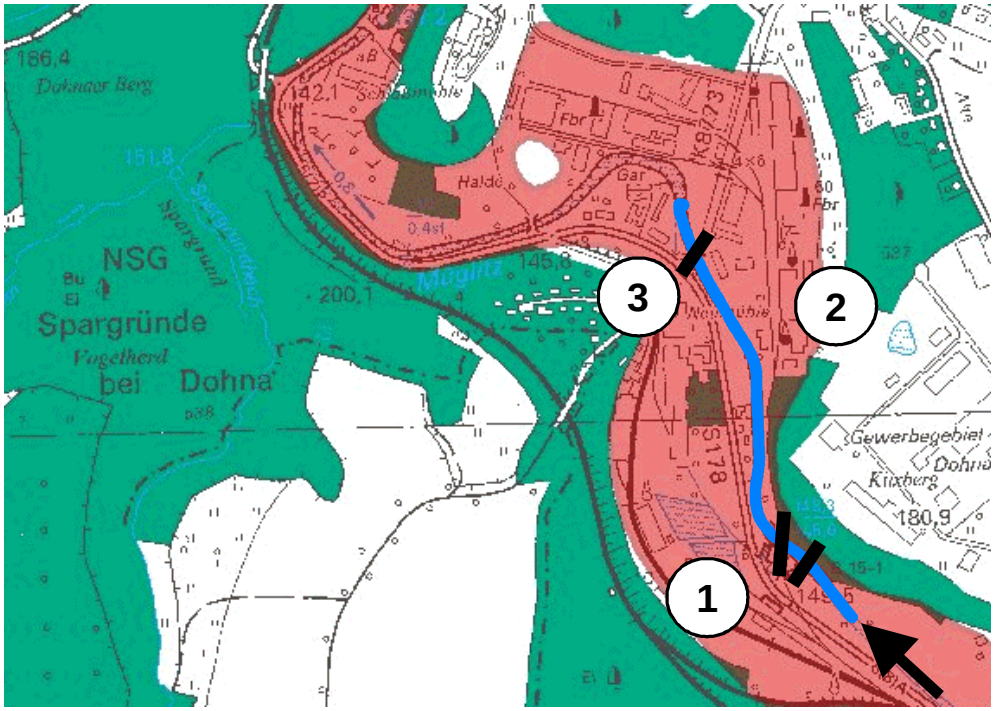



**Abbildung 6.7.2.3.1**: Überschwemmungsgebiet der Müglitz (in rot) im August 2002 mit Hervorhebung von (1) Wehr und Gleisbrücke (2) Betriebsbereich und (3) Brücke (Quelle: LfUG 2004, verändert)

Die hohen Abflussmengen und das mitgeführte Treibgut führten zu einer komplexen Strömungssituation in diesem Müglitzabschnitt, mit schweren Flutschäden im Bereich

der angrenzenden Ufer, Bahngleise, Straßen, Flächen und Gebäude (u.a. Köttewitzer Bahnhof und benachbarte nunmehr stillgelegte Papierfabrik). Auch die Betriebsfläche, die in einer Außenkrümmung liegt, war komplett überflutet bzw. mehr oder weniger durchströmt. Einen Eindruck der Verhältnisse liefern die **Abbildungen 6.7.2.3.2** und **6.7.2.3.3**.

**Abbildung 6.7.2.3.2**: Treibgut am Köttewitzer Wehr

**Abbildung 6.7.2.3.3**: Durchströmung der Betriebsfläche mit Treibgut: Blick gegen die Fließrichtung

Wie Abbildung 6.7.2.3.3 verdeutlicht, wurden die Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen nicht beschädigt, weil sie höher liegen (über dem Hochwasser von 2002) bzw. im Fall von Fluorwasserstoff auf einer hohen Stahlkonstruktion aufgestellt sind. Die Produktionsanlagen der Fluorchemie liegen ebenfalls höher, wie die **Abbildungen 6.7.2.3.4** und **6.7.2.3.5** verdeutlichen. Markiert ist die Rampe der Flusssäureanlage, die nicht überflutet wurde. Die eigentliche Produktionsanlage liegt über dem Niveau der Rampe und ist über mehrere Etagen nach oben errichtet. Die Anlagen liegen > 5m, das HF-Lager 14 m über dem Werksniveau von 148,7 m über NN.

**Abbildung 6.7.2.3.4**: Lagerbehälter der Mischanlage

**Abbildung 6.7.2.3.5**: Fluorwasserstoff – Produktionsanlage

Der Betriebsbereich, der der Störfall-Verordnung unterliegt, incl. VAwS-Anlagen war weniger durch das Hochwasser selbst gefährdet, sondern die Gefahr wurde vielmehr durch das mit der starken Strömung mitgerissene, zum Teil massive Treibgut verursacht. Es wurden zwar keine Stützpfeiler der Fluorwasserstoff-Lagerung zerstört, gleichwohl waren die Anlagen und insbesondere das Lager potenziell durch dieses Treibgut stark gefährdet. Bei der Zerstörung eines Lagerstützpfeilers wäre es vermutlich zu einer Zerstörung von Fluorwasserstoff-Lagerbehälter mit einer Freisetzung gekommen.

Das Notabfahren während des Augusthochwassers 2002 erfolgte bei –15°C im Solekreislauf. Zur Aufrechterhaltung des Betriebes der Solekreislaufpumpen und der übrigen Komponenten, die bei Stillstand über Notstrom versorgt werden müssen, ist ein Dieseltank für diesen Betriebszustand für das Notstromdieselaggregat mit einem Volumen für 48 Stunden vorhanden. Da diese Stundenzahl im Hochwasserereignis August 2002 überschritten wurde, wurde Diesel zur weiteren Versorgung durch Hubschrauber der Bundeswehr eingeflogen. Der Notbetrieb konnte so gesichert werden.

### 6.7.2.4 Hochwasserschutzkonzept der Landestalsperrenverwaltung

Von der Landestalsperrenverwaltung (LTV) des Freistaates Sachsen wurde ein Hochwasserschutzkonzept erarbeitet, das derzeit bautechnisch umgesetzt wird (Grundlagen und Randbedingungen der Wiederbebaubarkeit im Überschwemmungsgebiet bei $HQ_{100}$, Los 2 Müglitz, Stand 14.01.2004). Grundlage ist die sichere Ableitung eines $HQ_{100}$, das laut einer amtlichen Information zum Maßnahmenkonzept im Müglitzgebiet bei 150 m³/s liegt. Hierfür wird das Flussbett der Müglitz verbreitert und örtlich mit festen Ufermauern gesichert. Die Engpässe bei den Brücken bleiben jedoch vorerst unverändert, weil die bautechnische Erweiterung der Brücken nicht in der Zuständigkeit der Landestalsperrenverwaltung liegt. Von der Straßenbauverwaltung liegt hierzu bislang keine Information vor.

Im Oberlauf der Müglitz sind umfangreiche Maßnahmen, wie der Bau von mehreren größeren Rückhaltebecken, geplant. **Abbildung 6.7.2.4.1** zeigt einen Ausschnitt des Hochwasserkonzeptes der Landestalsperrenverwaltung im Bereich der Fluorchemie.

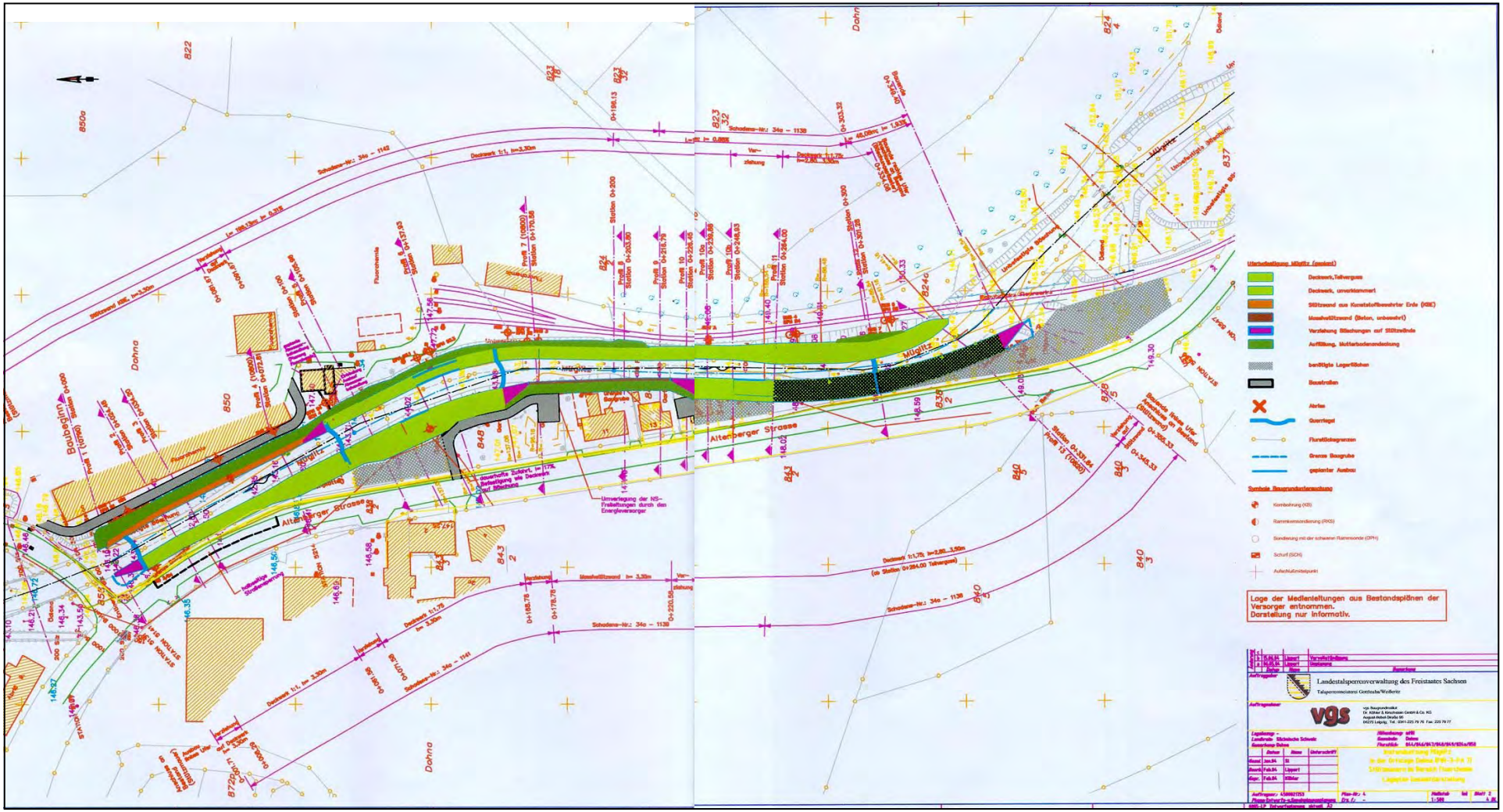



**Abbildung 6.7.2.4.1**: Hochwasserschutzkonzept der Landestalsperrenverwaltung im Bereich der Fluorchemie

Im Nachgang der Ereignisse von 2002 wurde das Betriebsgelände der Fluorchemie mit seinen Produktionsanlagen als Überschwemmungsgebiet definiert. Rechtsgrundlage ist die Definition des Überschwemmungsgebietes im Wassergesetz des Freistaates Sachsen vom 14.11.2002 sowie ein Erlass der Landesregierung Sachsens, nachdem alle im August 2002 überfluteten Gebiete als Überschwemmungsgebiete einzustufen sind.

Die Fluorchemie selbst geht davon aus, dass ihre Betriebsflächen durchaus erneut überflutet werden können. Eine besondere Gefährdung, insbesondere der Anlagen für wassergefährdende Stoffe, sieht der Betrieb vor allem durch das Treibgut. Seinen Betreiberpflichten (z.B. nach BImSchG und Berufsgenossenschaftlichen Verordnung) nachkommend hat die Fluorchemie in Form einer Aufschüttung der Uferböschung im Anströmbereich sowie durch die Aufschichtung mit Betonplatten eine Sicherung der Betriebsfläche vorgenommen, was vor dem Hintergrund der Erfahrungen vom August 2002 als dringend geboten erscheint. Aufgrund der im Jahre 2002 maximal aufgetretenen Abflussmenge von ca. 400 $m^3/s$ ist die Sicherung des künftigen Gewässerbettes für einen Abfluss von 150 $m^3/s$ nicht ausreichend.

**Abbildung 6.7.2.4.2** zeigt, dass durch die Flusskrümmung, die nahe Brücke mit zu geringem Querschnitt und die Lage der Anlagen in diesem Bereich ein großes Gefährdungspotential vorliegt. Käme es zu einem Extremereignis, welches das $HQ_{100}$-Niveau überschreitet, dann sollte sichergestellt werden, dass eine Gefährdung der Anlagen durch Treibgut ausgeschlossen werden kann. Trotz der betrieblichen Sicherungsmaßnahmen erscheint eine Gefährdung der Stützen der HF-Lagertanks nach wie vor gegeben. Die Tanklagerstützen sind statisch nicht für Horizontalkräfte, wie diese durch bis zu 10 t schweres Treibgut (z.B. durch Baustämme) mit Geschwindigkeiten von bis zu 20 m/s (Beobachtungen bei der Überflutung) hervorgerufen werden könnten, ausgelegt. Durch technische Maßnahmen muss eine horizontale Belastung der Stützen und eine Kolkbildung im Bereich der Stützenfundamente verhindert werden. Auch sollten weiter führende Überlegungen zur Reduzierung einer Gefährdung von Produktionsstätten angestellt werden. Dies betrifft z.B. die im Jahre 2002 noch knapp frei gebliebene Rampenhöhe am Gebäude.

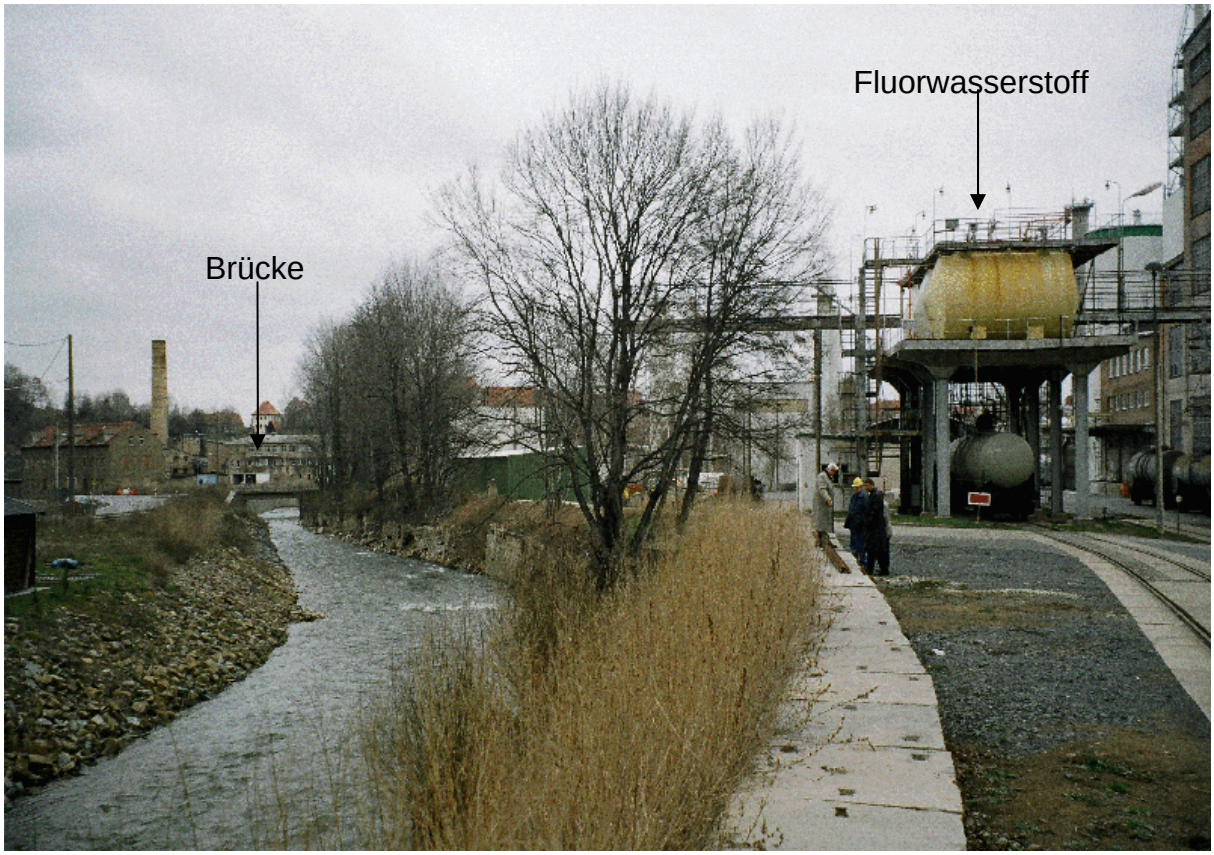



**Abbildung 6.7.2.4.2**: Blick flussabwärts auf die Betriebsfläche mit Betonplatten als Sofortmaßnahmen des Betreibers vorne, Tanks auf Stützen rechts und Brücke hinten links

Ein weiteres Problem betrifft die Frühwarnung für den Betrieb, die sich im August 2002 als praktisch nicht vorhanden erwiesen hat. Im Vergleich zu den Betrieben an großen Flüssen, die aufgrund früher Hochwasserwarnungen in der Regel mehrere Tage zur Durchführung der erforderlichen Maßnahmen haben, ist eine derartige Zeitspanne bei kürzeren, steileren Gewässern grundsätzlich nicht gegeben. Eine Vorwarnung aufgrund von Pegeldaten kann Vorwarnzeiten von Stunden ermöglichen, die bei zusätzlicher Nutzung von Niederschlags-Abfluss-Prognosen nochmals verlängert werden kann, jedoch nicht in den Bereich von Tagen. Eine möglichst frühzeitige Warnung ist jedoch von so großer Bedeutung, dass hierfür alle technisch-wissenschaftlichen Möglichkeiten ausgeschöpft werden sollten. Um die lokale Gefährdung bei ansteigendem Wasserstand besser einschätzen zu können, wurde durch den Betreiber an der benachbarten Brücke eine Marke für eigene Beobachtungen angebracht. Wird diese Markierung überschritten, hat der Betrieb nach eigenen Erfahrungen nur noch ca. 2 Stunden Zeit bis zu einer Überflutung der Betriebsfläche. Während dieser Zeit müssen die Anlagen abgefahren und alle Gefahrstoffe gesichert sein. Der Betrieb verfügt über Notstromeinrichtungen. Darüber hinaus können gefüllte Kesselwagen auf höher gelegene Bahngleise verfahren werden. Aus Sicht des Betriebes stellt die Markierung ein hilfreiches und wirksames

Hilfsmittel dar, kann aber eine frühzeitige Warnung durch die Behörden nicht ersetzen. Da das Anschwellen eines extremen Hochwassers de facto im Stundenbereich erfolgt, muss eine externe und direkte Alarmierung des Betreibers in jedem Fall gewährleistet sein (z.B. bei einem Ereignis in der Nacht). Nach Auskunft des Betreibers liegen Hinweise vor, dass in Zukunft u.a. Sirenen die Ortschaften warnen sollen. Hier ist eine genaue Kenntnis und eine weitere Abstimmung zwischen Behörden und Betreiber wichtig.

#### 6.7.2.5 Notfall- sowie Alarm- und Gefahrenabwehrplanung (Stand Frühjahr 2004)

In den voran gegangenen Kapiteln sind bereits etliche Aussagen zu Notfallabläufen sowie zur Alarm- und Gefahrenabwehr enthalten. Dies bezieht sich auf die tatsächlichen Abläufe, auf das Nichtfunktionieren von Melde- bzw. Alarmabläufen sowie auf die Kooperation von Betreibern und Behörden. Im weiteren Verlauf des Kapitels 10 wird eine übergreifende Analyse zur vorhandenen und erforderlichen Notfall- sowie Alarm- und Gefahrenabwehrplanung auch unter dem Aspekt der gewonnenen Erkenntnisse aus den einzelnen betrachteten Modellregionen zentral dargelegt.

Direkt bezogen auf den Standort der Fluorchemie Dohna ergibt sich folgendes Bild:

- Bei der Fluorchemie Dohna ist ein Alarm- und Gefahrenabwehrplan (AGAP) vorhanden. Im AGAP wird eine Überflutung nicht abgehandelt, weil im Sicherheitsbericht vermerkt ist, dass alle relevanten fluorwasserstoffführenden Anlageneinheiten so hoch gebaut wurden, dass sie sicher über dem bis dahin maximalen Hochwasser des Jahres 1927 liegen. Gleichwohl liegt ein Notfall-Abfahrplan vor, wie im Nachfolgenden angeführt, welcher auch für den Fall eines Hochwassers Gültigkeit hat.
- Dieser AGAP liegt auch dem zuständigen Landratsamt (LRA) vor.
- Eine Abstimmung zwischen dem Betreiber und dem LRA hinsichtlich eines Zusammenwirkens zwischen Betreiber, Behörden und externen Einsatzkräften wurde bislang nicht vorgenommen.
- Ob ein externer Katastrophenabwehrplan der Landratsämter vorlag, war dem Anlagenbetreiber nicht bekannt.

- Im AGAP der Fluorchemie ist ein Tableau der Meldeschritte für die Fälle der diversen Ereignisse enthalten, in welchem auch sämtliche relevanten externen Stellen wie Landratsamt, Feuerwehr etc. mit zuständigen Personen und Tel. Nr. eingebunden sind. Der Fall “Gewässerschäden“ ist mit erfasst.
- Es ist vor Ort ein sogenanntes diensthabendes System vorhanden, d.h. es ist immer ein verantwortlicher Ingenieur im Werk.
- Der Notfall-Abfahrplan der Anlagen sieht hierfür eine Zeit von ca. 30 Minuten vor. D.h. bei einer Vorwarnzeit von 2 Stunden hinsichtlich eines prognostizierten gefährlichen Anstiegs der Müglitz können die Anlagen gefahrlos abgefahren werden.
- Für das Verfahren und Rangieren von vollen HF-Kesselwagen in ungefährdete Bereiche wäre jedoch eine Vorwarnzeit von 6 Stunden erforderlich.
- Es ist eine Notstromversorgung über einen Notstromdiesel mit einer Anlaufzeit von 1 Sekunde vorhanden. Eine Beprobung findet 1 x wöchentlich statt. Dies gewährleistet auch bei Stromausfall ein sicheres Abfahren der Anlage über die MSR / das PLT. Die Notstromversorgung reicht zur ausreichenden Kühlung des HF-Tanklagers über 48 h. Nach 48 h ist das HF-Lager aufgrund eines $\Delta T$ von > 24 K noch weitere 48 h bis zum Erreichen des Siedepunktes sicher. Diese Zeit von 96 h liegt weit über der des Hochwasserabflusses.

#### 6.7.2.6 Defizitanalyse (Stand Frühjahr 2004)

Die Analyse des Hochwasserereignisses vom August 2002, die Bewertung der betrieblichen Maßnahmen zum Hochwasserschutz sowie die Planung der Landestalsperrenverwaltung lassen folgende Defizite erkennen:

1. Während des Augusthochwassers wurde der Betrieb von amtlicher Seite nicht vor den Hochwassergefahren gewarnt. Mittlerweile wurde ein Warnsystem vom Freistaat Sachsen über Internet und Mobilfunk eingerichtet. Der Betrieb wurde an dieses Hochwassernachrichtennetz angeschlossen. Darüber hinaus wurden in Sachsen die Hochwassermeldewege mit der Hochwassernachrichten- und Alarmdienstverordnung (HWNAV) vom 17.8.2004 neu geordnet (siehe auch Abschnitt 10.2.3.3).
2. Der Betrieb hat mit der Markierung an der Brücke ein eigenes Warnsystem aufgebaut.

3. Die behördlichen Planungen zum Hochwasserschutz wurden anfänglich ohne ausreichende Information und Rücksprache mit der Fluorchemie in Dohna durchgeführt. Am Beispiel der Fluorchemie in Dohna wird besonders deutlich, dass das öffentliche Interesse am Hochwasserschutz den Betreiberpflichten nach BImSchG entgegensteht. Für die Durchführung der Hochwasserschutzmaßnahmen wurde ein $HQ_{100}$ festgelegt, was unter den Bedingungen des Erzgebirges und insbesondere bei dem gefürchteten Hochwasserverhalten der Müglitz in Verbindung mit einer starken Strömung und erheblichen Treibgutmengen[10] nach Auffassung der Bericherstatter nicht als “hohe Sicherheit” anzusehen ist. Diese Einschätzung wird dadurch noch verstärkt, weil mobile Schutzsysteme bei den genannten Gefahrenquellen (Strömungsgeschwindigkeit und Treibgut) nicht eingesetzt werden können.

   Nach geltendem Landesrecht wurde ein chemischer Betrieb, der Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung sowie Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen aufweist, als Überschwemmungsgebiet eingestuft. Damit gelten die Anforderungen der VAwS des Freistaates Sachsen. Wie die Analyse der örtlichen Verhältnisse ergab, sind alle VAwS-Anlagen aufgrund ihrer jeweiligen Höhenlage vor Auftrieb geschützt. Problematisch ist jedoch das Treibgut, das zu einer Beschädigung der Stützpfosten führen kann. Diese müssen nach §10 Abs. 5 Nr.3 der sächsischen VAwS geschützt werden. Um dieser Forderung nachzukommen, beabsichtigt der Anlagenbetreiber eine Befestigung der Uferböschungen, um zumindest vorübergehend einen besseren Schutz für seine Anlagen zu erreichen. Diese Vorgehensweise von der Betreiberseite trifft jedoch zur Zeit auf Ablehnung bei den zuständigen Stellen der Wasserwirtschaft, die eine einheitliche Bemessungsgrundlage beim Ausbau des Gewässerbetts bzw. bei der Höhe der Uferböschungen verfolgten. Der Betreiber hatte im Außenbereich der Flusskrümmung Stützmauern mit einer Höhe von ca. 2 m geplant, um bei zukünftigem Hochwasser schweres Treibgut von der Anlage fernzuhalten. Für diese Maßnahme wurde zwischenzeitlich ein wasserrechtlicher Genehmigungsantrag gestellt. Bedenken zu einer solchen Mauer wurden von der Landestalsperrenverwaltung geäußert, weil durch eine solche Maßnahme das Gelände der Fluorchemie nicht mehr als Auffangraum zur Verfügung stehen würde und es im Falle eines Hochwassers zu größeren Überflutungen in den unterhalb gelegenen Wohngebieten kommen könnte.

[10] Die Gefahrenquelle „Treibgut“ wurde durch Filmaufnahmen und Fotos vom Unternehmen eindrucksvoll dokumentiert. Dies gilt ebenso für die Strömungsverhältnisse.

Insgesamt muss davon ausgegangen werden, dass solche Extremsituationen wie 2002 auch in Zukunft, zwar begrenzt durch die vorgesehenen Maßnahmen, beeinflussbar, aber nicht beherrschbar sein werden. Daher muss auch unabhängig von der Frage der Höhe der Ufermauer und der rechtlichen Einstufung der Betriebsfläche als Überschwemmungsgebiet über zusätzliche Objektschutzmaßnahmen im Bereich der Anlagen nachgedacht werden.

4. Aus Sicht des Anlagenbetreibers ist es von untergeordneter Bedeutung, in wessen Zuständigkeitsbereich die Anhebung oder Verbreiterung der Brücken, die als Engpässe nach wie vor bestehen, fallen. Wenn diese Brücken auch in Zukunft in der heutigen Form bestehen bleiben, müssen sie als „externe Gefahrenquelle“ für den Betriebsbereich berücksichtigt werden. Dies gilt für alle Ereignisse, die die hydraulische Leistungsfähigkeit des Brückenquerschnittes überschreiten. Dies gilt praktisch auch für kleine Ereignisse infolge des Treibgutes.

   Da eine Überflutung der Fluorchemie ungesteuert abläuft, kann davon ausgegangen werden, dass ein „Retentionsflächenverlust“ durch zusätzliche Schutzmaßnahmen im Bereich der Fluorchemie praktisch keine Erhöhung der Scheitelwasserstände im Unterlauf zur Folge hat. Bei Ereignissen >$HQ_{100}$ (bzw. über dem Hochwasserschutzziel) erübrigt sich eine solche Diskussion ohnehin. Selbst wenn - bei allen Unsicherheiten - dann noch ein geringer Retentionseffekt rechnerisch nachweisbar wäre, muss in diesem Spezialfall doch das Gefahrenpotenzial mit bewertet werden, das von der Anlage ausgeht.

5. Die Abstimmung im Gefahrenfall mit den Behörden und externen Kräften ist von Seiten des Landratsamtes und der Landesbehörden unbedingt zu organisieren und in einem externen Plan festzulegen. Vorwarnzeiten von mindestens 6 Stunden sind zu fordern, um mit HF gefüllte Eisenbahnkesselwagen evakuieren zu können. Da Gewässer wie die Müglitz schnell anspringen, ist für eine adäquate Vorwarnzeit neben dem Bau von Rückhaltebecken (z.B. Lauensteinbecken) die Vorhersage der Großwetterlage mit Angaben über zu erwartende Niederschläge in einer bestimmten Zeit von Bedeutung. Hinsichtlich der Vorwarnzeiten herrschte im Jahre 2002 ein großes Defizit.[11]

[11] Mit der Umsetzung des „Hochwasserschutzkonzeptes Müglitz“, wie z.B. der Bau des HW-Rückhaltebeckens Lauenstein und der weiteren in Planung und Bau befindlichen Rückhaltebecken, wird die Hochwassergefahr erheblich abgesenkt, was sich auch auf den Standort Dohna auswirken wird. Vor allem die Vorwarnzeit wird hierduch erheblich verlängert.

6. Die Kraftstoffbevorratung für die Notstromversorgung muss für die Dauer der Unzugänglichkeit des Betriebsbereiches bei Hochwasser angepasst werden.

## 6.7.3 Modellregion Dresden

### 6.7.3.1 Hochwasserereignisse im August 2002

Dresden war neben zahlreichen anderen Städten in Sachsen vom Hochwasser mit am stärksten betroffen. Die Katastrophe vollzog sich in vier Phasen [DKKVa, 2003]:

1. Phase: Am 12. August 2002 um 7:00 Uhr setzte in Dresden starker Regen ein. Bis Mitternacht fielen im Stadtgebiet 167 l/m². Damit waren das städtische Kanalsystem und das ca. 400 km Bachlänge umfassende Fließgewässersystem bereits gegen Mittag überlastet. Es kam im gesamten Stadtgebiet zu Überschwemmungen und schweren Zerstörungen, insbesondere an den Fließgewässerbetten selbst.

   Als dann am 12. August 2002 um 20:00 Uhr an der Roten Weißeritz die Talsperre Malter unkontrolliert überlief und 4 Stunden später auch die Talsperre Klingenberg an der Wilden Weißeritz, wurde die Evakuierung der angrenzenden Stadtteile von den Behörden angeordnet. Die Weißeritz erwies sich als extrem reißender und durch das mitgeführte Treibgut und Geröll unberechenbarer Gebirgsfluss. Sie zerstörte nahezu sämtliche Brückenbauwerke sowie die Bahnlinien. Im Ergebnis waren die zentralen Stadtteile Dresdens überflutet, die Kommunikationswege und Stromversorgung unterbrochen und der Abwasserhauptsammler beschädigt. Der Dresdener Hauptbahnhof wurde am 13.8.2002 von der Weißeritz überflutet.

**Abbildung 6.7.3.1.1**:
Überflutung des Hauptbahnhofes in Dresden

2. Phase: Neben der Weißeritz brachten weitere Gewässer, wie z. B. der Lockwitzbach, zusätzliche Wassermassen, die die Stadt überfluteten.

3. Phase: Das eigentliche Elbehochwasser erreichte erst am 17. August 2002 mit 9,40 m den höchsten je gemessenen Wert. Seit dem Hochwasser 1890, das bis dato als etwa 100-jährliches Ereignis galt, war die 8-m-Marke nie mehr überschritten worden. Der damalige Pegelstand von 8,37 m galt somit als Referenzwert sowohl für die vorhandenen Schutzeinrichtungen (z.B. Flutrinnen) als auch für die Festsetzung der Überschwemmungsgebiete durch die Stadtverwaltung im Mai 2000. Mit dem Pegelstand am 17.08.02 wurden in Dresden - insbesondere von der Elbe her mit den bekannten Überflutungsbildern - die Grenzen der Marken für die Hochwasservorsorgemaßnahmen erreicht und teilweise überschritten. (Bekannte Überflutungsbilder.) Ein Teil der überfluteten Gebäude liegt im Gebiet, das im Jahr 2000 schon überschwemmt war. Andere betroffene Gebäude liegen auf Flächen, die bekanntermaßen beim verheerenden Hochwasser 1845 (Pegelstand 8,77 m) überschwemmt worden waren.

4. Phase: Das Grundwasser stieg innerhalb von 2 – 3 Tagen um 3 m. Es erreichte einen extrem hohen Stand, jedoch wurde vor einem frühzeitigen Abpumpen des Wassers aus den Kellern wegen möglicher Probleme mit der Standsicherheit wg. des Wasserdrucks von außen gewarnt. Der Grundwasserpegel blieb noch weit über das Jahr 2002 hinaus auf hohem Niveau und ist bis heute verantwortlich für einen erheblichen Teil der Sachschäden (nach Schätzungen rund 20 Prozent).

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die Hochwassergefährdung der Stadt Dresden durch eine komplexe Wechselwirkung verschiedener natürlich bedingter Gefahrenquellen verursacht wird. Im Einzelnen sind dies

- der Starkregen als eine Ursache für die Überflutungen von Kellern
- die Weißeritz sowie andere kleinere Gewässer mit stark dynamischen Fließverhältnissen,
- die Elbe mit ihrem großen Einzugsgebiet,
- das hohe Grundwasser im Hochwasserkontext mit monatelanger Vernässung (auch in nicht als Überschwemmungsgebiet ausgewiesenen Arealen) sowie
- die „technogene“ Schicht im Untergrund, die eine Gefährdung durch Rückstau und Grundwasserandrang über Kanalsysteme verursacht.

Nach Schätzungen des Umweltamtes wurden im Stadtbereich durch diese verschiedenen Ursachen ca. 400 Öltanks privater Haushalte beschädigt. Ein Großteil des gelagerten Öls wurde mit dem Wasser der Elbe fortgespült oder führte zu großen Schäden im näheren Umfeld. **Abbildung 6.7.3.1.2** zeigt eine Aufnahme von Ölschlieren auf der Elbe in der Nähe von Schloss Pillnitz.

**Abbildung 6.7.3.1.2**: Aufnahme von Ölspuren in der Nähe von Schloss Pillnitz

Die Häuser mit Öltanks wurden vor 2002 vom Umweltamt Dresden katastermäßig erfasst. Während eine rechtzeitige Warnung der Stadtteile an der Weißeritz wegen der kurzen Vorwarnzeit nicht möglich war, bat das Umweltamt der Stadt Dresden vor Eintreffen des Elbehochwassers alle Anwohner, die über Heizöltanks verfügten und gefährdet erschienen, ihre Heizöltanks rechtzeitig zu entleeren oder vor einem Aufschwimmen zu sichern. Die Resonanz auf die Information war sehr zwiespältig. Während einige Anwohner die Warnungen ernst nahmen, beschwerte sich ein großer Teil über die Panikmache des Umweltamtes. Offenbar hatten die wenigsten mit einer derartigen Flut gerechnet. Darüber hinaus waren im überschwemmten Gebiet die meisten Tanks nicht gegen Auftrieb oder äußeren Druck gesichert.

### 6.7.3.2 Sanierung von bestehenden Anlagen zum Lagern von Heizöl

In den **Abbildungen 6.7.3.2.1** und **6.7.3.2.3** sind die festgesetzten Überschwemmungsgebiete vor und nach dem Hochwasser 2002 dargestellt. Ergänzt werden die Abbildungen durch die tatsächlich überschwemmten Gebiete während des Augusthochwassers 2002 (**Abbildung 6.7.3.2.2**).

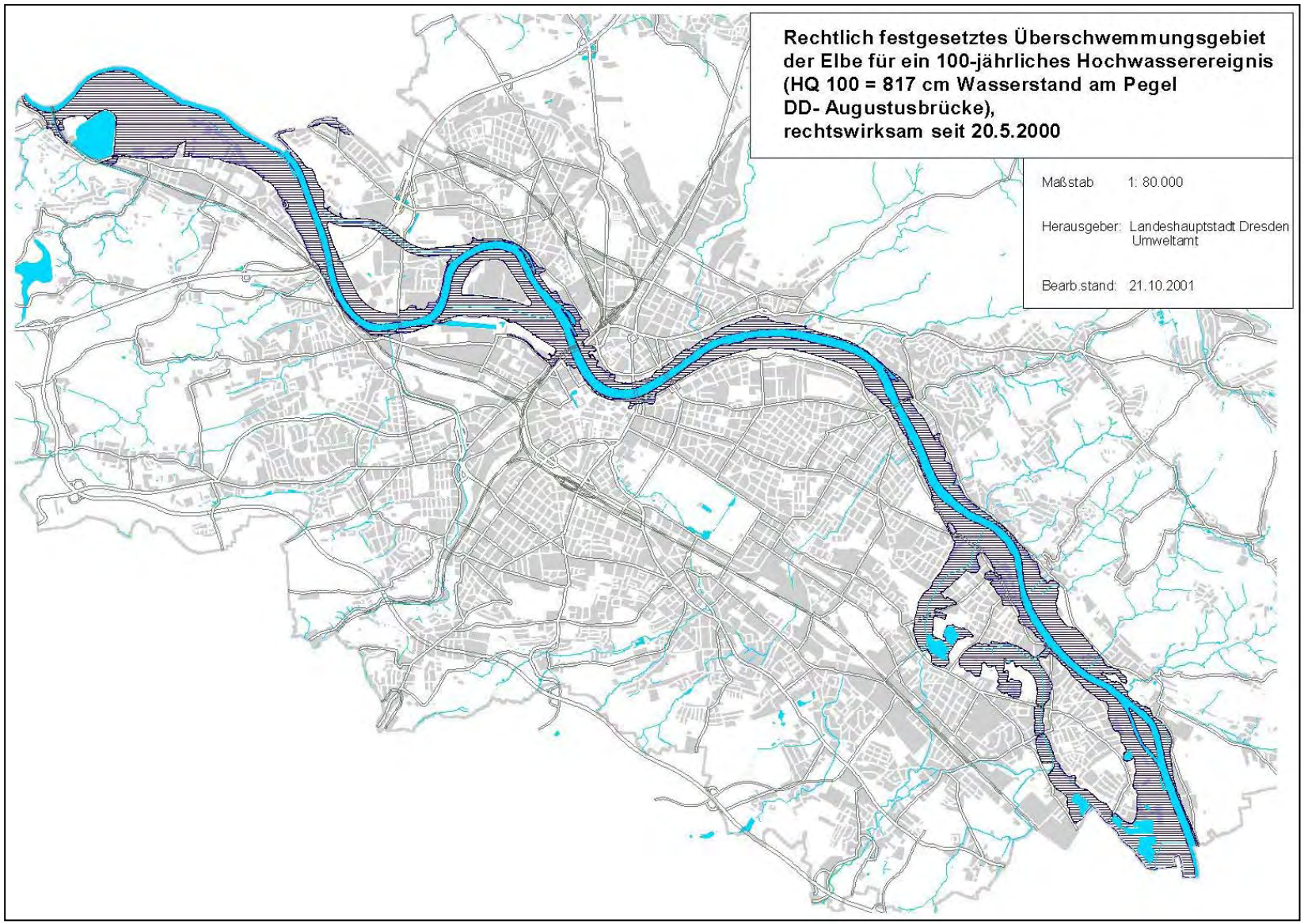



**Abbildung 6.7.3.2.1**: Rechtlich festgelegte Überschwemmungsgebiete vor dem Augusthochwasser 2002

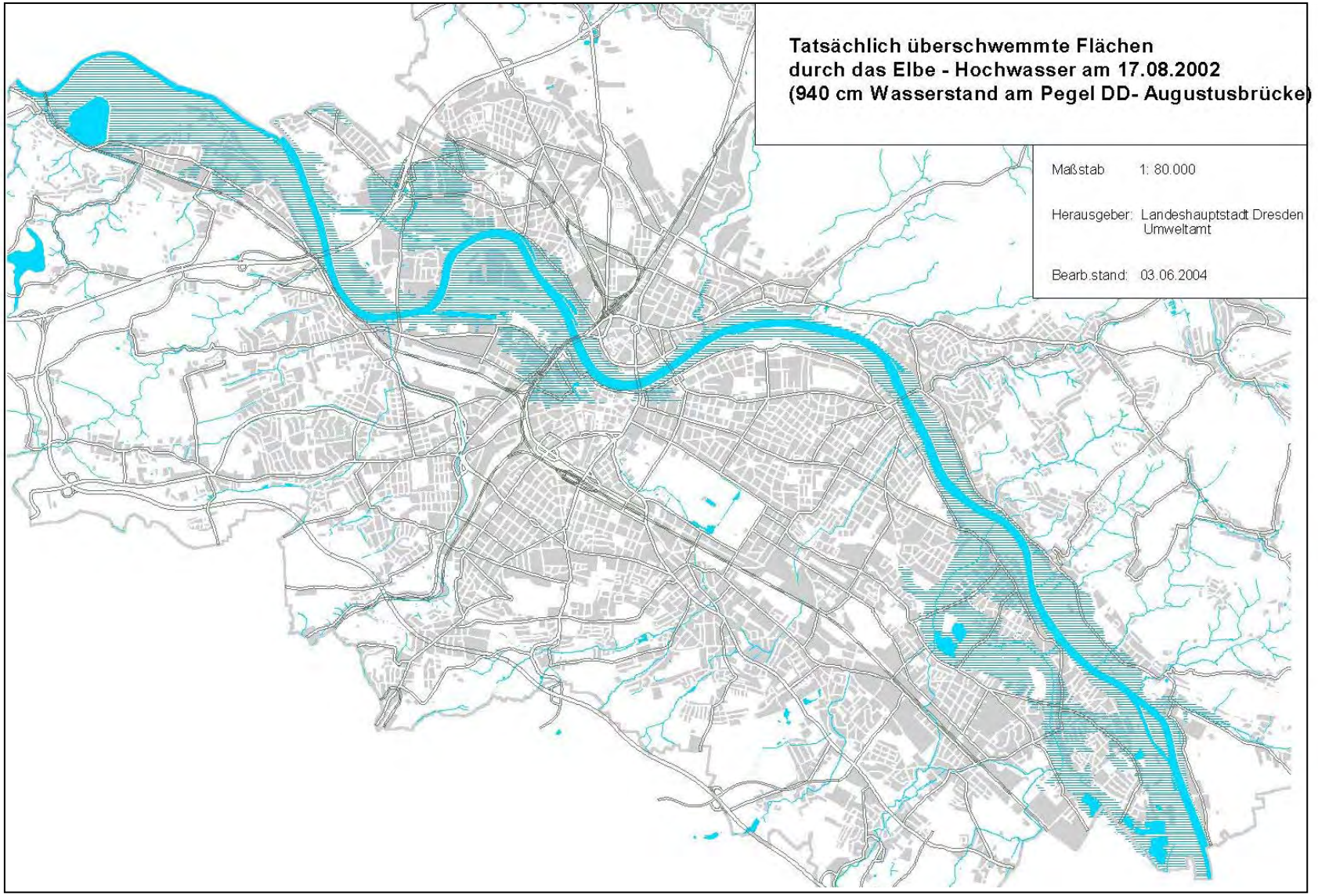



**Abbildung 6.7.3.2.2**: Tatsächliche Überschwemmungsgebiete während des Augusthochwasser 2002

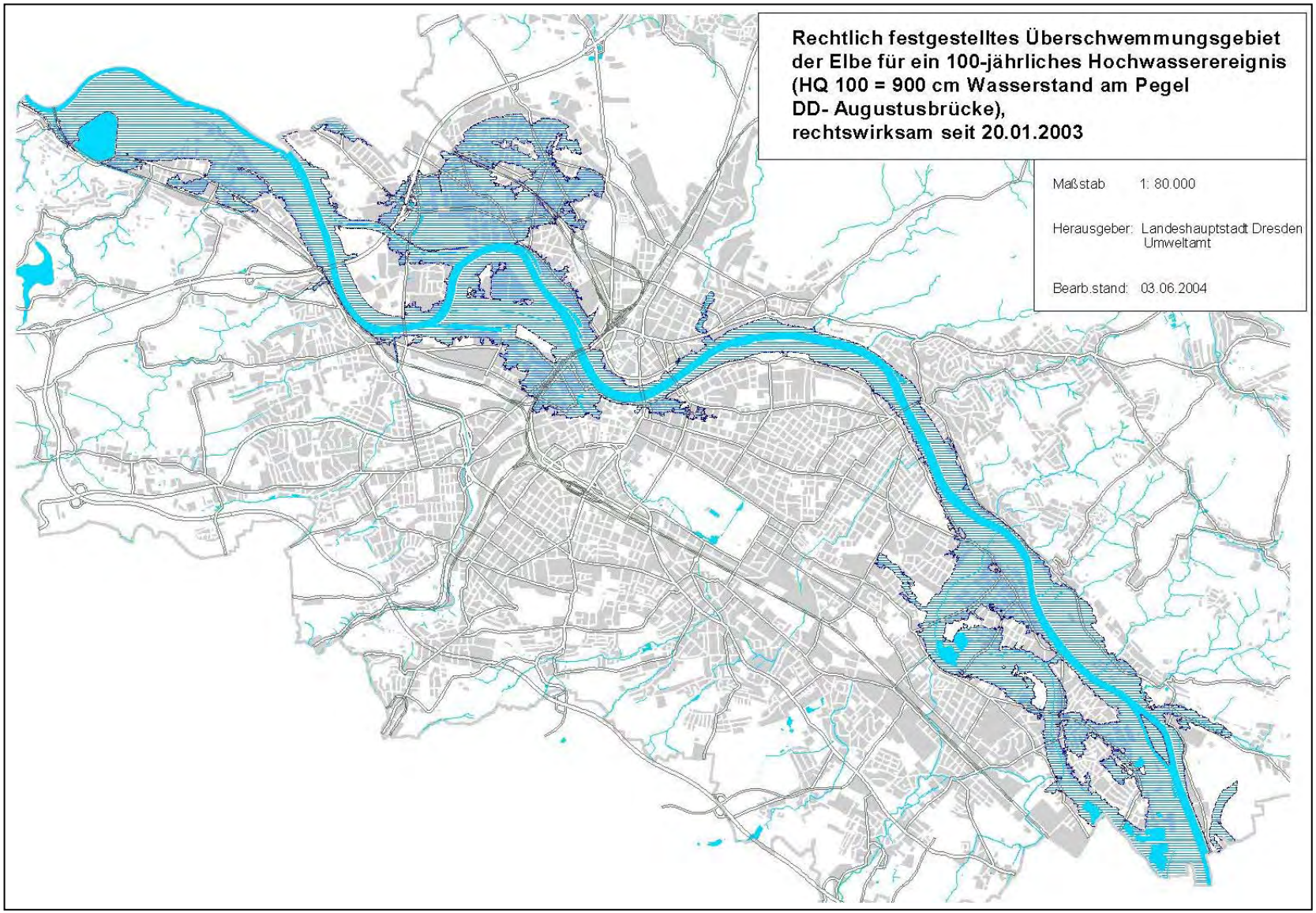



**Abbildung 6.7.3.2.3**: Rechtwirksame Überschwemmungsgebiete seit dem 20.01.2003

Aufgrund der erheblichen Ausweitung der Überschwemmungsgebiete sind zahlreiche VAwS-Anlagen hinzugekommen, die die Anforderungen der SächsVAwS an Anlagen in Überschwemmungsgebieten erfüllen müssen. Da zur rechtlichen Verbindlichkeit jedoch Anordnungen in jedem Einzelfall erforderlich sich und dies einen erheblichen Arbeitsaufwand verursacht, wird sich die Durchsetzung der Umstellung von Altanlagen stark verzögern. Aufgrund der hohen Zahl von Anlagen ist das Umweltamt in Dresden zunächst mit der katastermäßigen Erfassung der zu prüfenden Anlagen zum Lagern von Heizöl befasst. Daher sind genaue Angaben über die Zahl der betroffenen Anlagen zum Lagern von Heizöl derzeit nicht möglich. Vor dem August 2002 waren ca. 100 Anlagen in dem damals festgesetzten Überschwemmungsgebiet verzeichnet. Nach der Neudefinition des Begriffs „Überschwemmungsgebiet“ wird derzeit von ca. 300 Anlagen ausgegangen, wobei die Arbeitskarten noch ständig geändert werden. Von den im August betroffenen 400 Anlagen wurden zwischenzeitlich über 200 stillgelegt. Etwa 10 % der Betreiber stillgelegter Anlagen haben ein neues, den gültigen Anforderungen genügendes Heizöllager errichtet. Die restlichen Betreiber haben den Energieträger gewechselt.

#### 6.7.3.3 Gefährdung durch Grundwasser und Rückstau im Kanalsystem

Neben den unmittelbar vom Hochwasser betroffenen Heizöltanks wurden auch zahlreiche Anlagen zum Lagern von Heizöl beschädigt, die außerhalb der Überschwemmungsgebiete lagen. Diese wurden durch den Rückstau im Kanalsystem sowie durch das Ansteigen des Grundwasserspiegels in Mitleidenschaft gezogen. Weil sich der Grundwasseranstieg auch außerhalb der Überschwemmungsgebiete vollzog, sind die für Anlagen in Überschwemmungsgebieten einschlägigen Bestimmungen der Sächsischen Anlagenverordnung zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nicht unmittelbar anzuwenden. Es ist jedoch auf § 3 der Sächsischen VAwS zu verweisen, wonach Anlagen gegen zu erwartende physikalische Einflüsse hinreichend widerstandsfähig sein müssen, sowie auf § 25 Abs. 2, wonach die Behörde für bestehende Anlagen Anordnungen treffen kann.

Fachlich ist nachgewiesen, dass zwischen dem Hochwasserereignis 2002 und dem Anstieg des Grundwassers ein kausaler Zusammenhang besteht, wenn dies auch in Dresden nicht die einzige Ursache war. In den derzeit gültigen Rechtsvorschriften wird diese Problematik hoher Grundwasserstände als häufiger Auslöser von Vernässungen bzw. Schäden in Siedlungsbereichen jedoch nicht berücksichtigt. Als besonders problematisch ist auch der Wasserrückstau in öffentlichen Kanalsystemen

einzustufen, der ggf. im Zusammenspiel mit dem Grundwasserleiter zur Überflutung von Kellerräumen führen und damit Heizöltanks beschädigen kann. In Dresden war das Kanalsystem durch die starken Niederschläge schon vor dem eigentlichen Elbehochwasser überlastet.

#### 6.7.3.4 Hochwassersicherung von KFZ-Tankstellen

Die Tanks von Tankstellen im Stadtgebiet Dresden sind alle unterirdisch und somit sicher vor Auftrieb und Beschädigung geschützt. Die Betreiber von Tankstellen hatten rechtzeitig ihre Anlagen gegen Überschwemmung gesichert, indem sie alle Zapfsäulen vorsorglich demontierten und die Rohrleitungen zu den Tanks verschlossen. Beschädigungen an Tankstellen traten daher während des Augusthochwassers 2002 in Dresden nicht auf.

#### 6.7.3.5 Überprüfung durch Sachverständige

Nach § 21 der Sächsischen Anlagenverordnung zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen hat der Betreiber von Heizölanlagen die Prüfung durch Sachverständige durchführen zu lassen. In der Praxis hat sich in Einzelfällen herausgestellt, dass Öltanks abgenommen wurden, deren Einsatz in Überschwemmungsgebieten gar nicht zugelassen war (z.B. keine Bauartzulassung gegen Wassergefährdung). Die weitergehenden Anforderungen nach § 7 der SächsVAwS werden in der Regel von den Sachverständigen nicht geprüft.

#### 6.7.3.6 Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern (Flüssiggaslagerung)

Während der Hochwasserkatastrophe 2002 wurden im Raum Dresden eine Reihe von Schadensereignissen durch das Aufschwimmen von Flüssiggaslagertanks und dem damit verbundenen Abreißen von Leitungen festgestellt. Aufgrund des Abdriftens dieser Behälter von Gebäuden und dem Umstand, dass warme Umgebungstemperaturen vorlagen sowie zu dieser Jahreszeit i.d.R. nur kleine Speichermengen

in den Behältern vorhanden waren, kam es zu keinen größeren Schadensauswirkungen, wie z.B. zu einer Explosion von Gas-/Luftgemischen in Gebäuden.

Da keine behördliche Registrierung von Flüssiggasbehältern < 3 t Kapazität vorlag (siehe Tabelle 4.4.1.1), war eine genaue Erfassung von Schäden in diesem Bereich offiziell nicht möglich. Bei Beobachtungen des TÜVs bei diversen Hubschrauberkontrollflügen wurde festgestellt, dass es sich bei den aufschwimmenden Behältern stets um kleinere Einheiten handelte, die dem privaten Nutzungsbereich zuzuordnen waren.

### 6.7.3.7 Defizitanalyse

Die Problematik bei der Sanierung der während des Augusthochwassers 2002 betroffenen Anlagen zum Lagern von Heizöl wurde in den Kapiteln zuvor ausführlich dargestellt. An dieser Stelle werden daher nur die wichtigsten Punkte noch einmal zusammengefasst:

1. Behördliche Anordnungen zur Sanierung von Anlagen zum Lagern von Heizöl sind Einzelfallentscheidungen. Hierdurch ergibt sich ein Arbeitsaufwand, der aufgrund der Vielzahl von betroffenen Anlagen zu einer erheblichen Verzögerung im Vollzug führt.

2. Tankanlagen, die von Überschwemmung durch Kanalrückstau oder durch den Anstieg des Grundwasserspiegels betroffen waren, wurden von den besonderen Anforderungen zur Absicherung gegen Überschwemmung der Anlagenverordnung Sachsens nicht erfasst. Der § 94 Abs. 2 SächsWG stellt die Rechtsgrundlage für eine Anordnung zur Sanierung dar.

3. Bei der Umrüstung von Öl- auf Gasheizungen ist zu beachten, dass bei Hochwasser auch Gasleitungen beschädigt werden können. Das Regelwerk der DVGW-Richtlinie ist für diesen Fall zu ergänzen.

4. Es gibt keine rechtliche Grundlage im Bereich der sogenannten Kleinbehälter für die Flüssiggaslagerung mit einem Fassungsvermögen < 3 t (für Sachsen) zur Kontrolle dieser Flüssiggasbehälter durch die Behörden am Aufstellungsort. Dies gilt sowohl für Überschwemmungsgebiete als auch überschwemmungsgefährdete Gebiete. Zwar unterliegen Flüssiggasbehälter einer Reihe

von Vorschriften und technischen Regelwerken (Hersteller und in Verkehr bringen (vormals Anwendung der TRB 801 Nr. 25, jetzt Druckgeräte R), siehe Kapitel 3.8.4), jedoch obliegt die Kontrolle der Behälter nur dem Eigentümer bzw. Betreiber. Das GPSG, die BetriebsSichV, die TRBS und DruckgeräteV gelten nicht für den privaten Betrieb.

## 6.8 Übergreifende Ergebnisdarstellung mit Defizitanalyse

Als Ergebnis der Untersuchungen in den verschiedenen Modellregionen in Nordrhein-Westfalen, in Sachsen-Anhalt sowie im Freistaat Sachsen werden die wichtigsten Ergebnisse der Sachstandanalysen in den folgenden Kapiteln zusammenfassend diskutiert. Dabei sind die Darstellungen grundsätzlich als eine Art Bestandsaufnahme zu betrachten, die konkreten Schlussfolgerungen und Lösungsvorschläge werden in Kapitel 11 im Gesamtzusammenhang aller Untersuchungsergebnisse vorgestellt.

### 6.8.1 Umsetzung der technischen Regelwerke

#### 6.8.1.1 Betriebsbereiche

Anlagen, die nach dem Bundes-Immissionsschutz zu genehmigen sind, müssen alle gemäß dem Stand der Technik geplant, gebaut und betrieben werden. Die einschlägigen Regelwerke, nach denen sich Planer, Betreiber, Sachverständige und Behörden orientieren, sind bekannt. Betreiber müssen technische und organisatorische Maßnahmen ergreifen, um mögliche Emissionen in die Umwelt zu verhindern oder auf ein Minimum zu reduzieren. Die Gefahren durch Hochwasser sind im Rahmen eines Sicherheitsberichts und Alarm- und Gefahrenabwehrplans dann zu berücksichtigen, wenn Betriebsbereiche den erweiterten Pflichten der 12. BImSchV unterliegen.

Für Betriebsbereiche mit gefährlichen Stoffen sind Sicherheitsberichte sowie Alarm- und Gefahrenabwehrpläne zu erstellen, sofern sie unter die erweiterten Pflichten der StörfallV fallen, wie auch Konzepte zur Verhinderung von Störfällen und Sicherheitsmanagementsysteme auszuarbeiten. Sicherheitsberichte unterliegen einer Prüfpflicht durch die zuständige Behörde. Diese Prüfung kann durch gesondert eingeschaltete

Sachverständige nach § 29 a BImSchG vorgenommen werden. Eine solche Prüfpflicht ist für Alarm- und Gefahrenabwehrpläne nicht vorgesehen.

Betriebsbereiche mit gefährlichen Stoffen unterhalb der Mengenschwelle Spalte 5 nach der StörfallV, jedoch oberhalb der geringer angesetzten Mengenschwelle Spalte 4 gemäß der StörfallV fallen nur unter die sogenannten Grundpflichten. Damit entfällt die Forderung nach der Erstellung eines Sicherheitsberichtes sowie eines Alarm- und Gefahrenabwehrplanes. Bezüglich der Sicherheitskonzepte, der Konzepte zur Verhinderung von Störfällen und der Sicherheitsmanagementsysteme sind im Rahmen von Genehmigungsverfahren entsprechend den jeweiligen Ländererlassen mehr oder weniger umfangreiche Darlegungen vorzunehmen. Innerhalb eines Genehmigungsverfahrens nach BImSchG ist der Stand der Technik bzw. der Sicherheitstechnik und damit auch die Umsetzung der technischen Regelwerke grundsätzlich durch die Genehmigungsbehörde und den von ihr eingeschalteten Fachbehörden zu prüfen. Dies ist aufgrund der vorhandenen Kompetenz häufig nur begrenzt möglich. Die Genehmigungsbehörde als auch der Antragsteller können daher externe Sachverständige (z.B. nach § 29 a BImSchG) beauftragen (hierzu auch § 13 9. BImSchV). Im Rahmen von Inspektionen nach § 16 der StörfallV werden i.d.R. durch die eingeschalteten Behörden auch Prüfungen in Bezug auf die Einhaltung der Regelwerke durchgeführt.

Wesentliche Empfehlungen der Flussgebietskommissionen für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Hochwassergebieten oder einstaugefährdeten Bereichen sollten auch Eingang finden in technische Regelwerke für Betriebsbereiche, welche unter die StörfallV fallen oder in sonstigen Gebieten mit einer Hochwassergefährdung liegen.

Im Rahmen der Beurteilung der Betriebsbereiche und VAwS-Anlagen in den ausgewählten Modellregionen konnte festgestellt werden, dass von den Betreibern im Wesentlichen die einschlägigen Regelwerke umgesetzt wurden. Hierzu wurden anhand eines separat für diese Untersuchungen erstellten detaillierten Fragebogens die jeweiligen verantwortlichen Personen der einzelnen Betriebsbereiche und Anlagen interviewt sowie z.T. die Sicherheitsberichte als auch Alarm- und Gefahrenabwehrpläne eingesehen. Es waren prinzipiell keine Defizite zu erkennen.

Beispiel: So hat der Bayer Chemiepark Leverkusen neben dem Alarm- und Gefahrenabwehrplan gemäß der StörfallV einen detaillierten Alarm- und Gefahrenabwehrplan separat für Hochwassergefahren für den gesamten

Chemiestandort erarbeitet und hält in diesem Rahmen technische Geräte (mobile Schutzwände, Sandsäcke etc.) zur Gefahrenabwehr bereit.

Einschränkend zu den vorausgegangenen Ausführungen muss allerdings erwähnt werden, dass es sich bei den ausgewählten Betrieben um größere Betriebseinheiten handelt, die fast alle unter die Störfall-Verordnung fallen und somit bereits aufgrund der einschlägigen Gesetze sowie durch die behördliche Überwachung von Haus aus einen guten technischen Standard aufweisen. Hinsichtlich der Situation bei kleineren Betrieben, insbesondere solchen, die nicht unter die Störfall-Verordnung fallen oder nicht genehmigungspflichtig sind, können im Rahmen der begrenzten Untersuchungsmöglichkeiten in diesem Forschungsvorhaben keine konkreten Angaben vorgelegt werden.

#### 6.8.1.2 VAwS-Anlagen

Als grundsätzlich problematisch hat sich die Anzeige von Heizöltanks und Anzeigepflicht von kleinen Flüssiggastanks für die Versorgung privater Haushalte erwiesen. Weil viele Besitzer von Heizöltanks ihrer Anzeigepflicht nicht nachkommen und für kleine Flüssiggastanks überwiegend keine Anzeigepflicht besteht, herrscht bei den Behörden oftmals Unkenntnis über die Zahl der Anlagen und deren Lage. Darüber hinaus entsprachen zahlreiche Anlagen, wie die Schäden in Dresden an den privaten Öltanks in Überschwemmungsgebieten gezeigt haben, auch nicht den Anforderungen zur hochwassersicheren Ausführung entsprechend der jeweiligen VAwS-Anlagenverordnung sowie den Empfehlungen der IKSE. Andere Anlagen lagen zwar außerhalb der festgesetzten Überschwemmungsgebiete und entsprechend waren keine Maßnahmen zum Hochwasserschutz zu ergreifen, sie wurden jedoch gleichwohl durch das extreme Hochwasser überschwemmt und setzten hierdurch Öl frei.

Für VAwS-Anlagen, die in überschwemmungsgefährdeten Gebieten liegen, gibt es derzeit noch keine speziellen Anforderungen. Die Begründung besonderer Pflichten in einer VAwS ggf. ähnlich der Empfehlungen der IKSE für Anlagen in Überschwemmungsgebieten kann erst erfolgen, wenn der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ auch in einer VAwS-Anlagenverordnung aufgenommen ist. Darüber hinaus müssen die überschwemmungsgefährdeten Gebiete ausgewiesen werden, damit die Betreiber ihre Pflichten erkennen können und die Behörden handlungsfähig sind, deren Vollzug auch umzusetzen bzw. zu überwachen zu können.

### 6.8.1.3 Private Flüssiggasbehälter

Die Lagerung von Flüssiggas in Mengen < 5 m³ bzw. < 3 t unterliegt keiner Genehmigungspflicht und überwiegend keiner Anzeigepflicht. Somit ist von keiner Behörde festzustellen, wie viele Flüssiglagertanks in welcher Größe wo aufgestellt sind. Lediglich Nordrhein-Westfalen bildet hier eine Ausnahme, da dort eine Anzeigepflicht vorgeschrieben ist. Eine vage Kontrolle liegt allenfalls bei den Überwachungsinstitutionen, wie dem TÜV oder sonstigen Sachverständigen bzw. Sachkundigen vor.

- Es kann davon ausgegangen werden, dass beim Inverkehrbringen von Flüssiggastanks durch den jeweiligen Hersteller die unter Kapitel 5 und 6 genannten Richtlinien eingehalten wurden.
- Inwieweit die technischen Hochwasserschutzmaßnahmen zur Sicherung gegen Auftrieb nach TRB 600 und gegen Kräfte durch Wasserströmung durch die Betreiber realisiert wurden, kann nicht ermittelt werden. Dies fällt z.B. nicht in den Bereich einer wiederkehrenden Prüfung derartiger Anlagen.
- Inwieweit die Anlagen hochwassersicher ausgeführt worden sind, könnte nur in speziellen Einzelprüfungen anhand der Prüfberichte der v.g. Prüfer festgestellt werden.

Insgesamt ergibt sich ein deutliches Defizit in Bezug auf die Registrierung und Überwachung solcher Flüssiggasbehälter. Eine Anzeigepflicht und eine spezielle Überwachung hochwassergefährdeter Anlagen sollten per Verordnung bzw. gesetzlich geregelt werden. Beides könnte zentral bei einer Behörde angesiedelt sein, welche auch im Bereich des Hochwasserschutzes verantwortlich ist. Vormals war dies die Untere Wasserbehörde. Seitdem Flüssiggas jedoch als nicht wassergefährdend eingestuft wurde und keine Wassergefährdungsklasse mehr aufweist, ist deren Zuständigkeit erloschen.

Die Empfehlungen der Flussgebietskommissionen für Heizöltanks sollten auch auf die Lagerung von brennbaren Gasen, insbesondere Flüssiggase, ausgedehnt werden und ihren Niederschlag in einschlägigen Regelwerken finden.

### 6.8.2 Sicherheit gegen Strömungskräfte und Treibgut

Erhebliche Strömungskräfte können nur dort auftreten, wo hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf große Angriffsflächen auftreten. Auch bei Hochwasser treten weder am Rhein noch an der Elbe oder Mulde hohe Strömungsgeschwindigkeiten in Ufernähe auf. Kleine Bäche, wie z. B. die Müglitz oder die Weißeritz in Sachsen, können jedoch sehr schnell auftretende große Kräfte entwickeln. In Verbindung mit Treibgut können sie dann durchaus Anlagen bzw. Anlagenteile gefährden.

Dies wurde besonders während der Untersuchungen auf dem Gelände der Fluorchemie in Dohna deutlich. Während die eigentlichen Tankanlagen oberhalb der Wasserlinie angeordnet sind, bieten die Stützpfeiler genügend Angriffsfläche, durch die Treibgut unter Umständen die Tankanlage zum Einsturz bringen kann (vgl. Abbildung 6.7.2.4.2). Derartige Situationen machen eine bauliche Sicherung gegen Strömungskräfte und Treibgut erforderlich.

Hohe Strömungsgeschwindigkeiten können lokal auch im Falle eines Deichbruchs sich direkt hinter der Deichbruchstelle einstellen. Die Kraft der Wassermassen zeigte sich z.B. in Bitterfeld beim Versuch, die Deichbruchstelle zu schließen. Große Spundwände aus Eisen wurden innerhalb kürzester Zeit fortgerissen und verschwanden in dem gefluteten Tagebaurestloch. An anderer Stelle hätten auch sie zu einem gefährlichen Treibgut werden können.

Schutzmauern parallel zur Strömungsrichtung, wie bei Bayer in Leverkusen und der Uniqema in Emmerich, sind jedoch praktisch nicht durch Strömungskräfte und Treibgut gefährdet.

### 6.8.3 Sicherung der Einlaufbauwerke

In den untersuchten Modellregionen leiten nur der Bayer Chemiepark Leverkusen und die Hermania Schirm AG Wasser direkt in den Vorfluter. Alle anderen Betriebe leiten ihr Abwasser einschließlich Oberflächen- und Kühlwasser indirekt ein. Die Sicherung der Einlaufbauwerke wurde in den Kapiteln 6.5.4.2 (Bayer) und 6.6.3.4 (Hermania) dargestellt. Beide Anlagen erfüllen die Anforderungen nach DIN 19712.

In beiden Fällen können die Kanäle verschlossen werden, um ein Eindringen von Wasser auf das Betriebsgelände zu verhindern. Während die Produktionsanlagen bei

der Hermania u.U. abgefahren werden müssen, verfügt der Bayer Chemiepark Leverkusen über ein Rückhaltebecken für das Abwasser. Oberflächenwasser und Kühlwasser werden durch ein redundant ausgelegtes Pumpwerk über die stationäre Hochwasserschutzwand in den Rhein gefördert.

### 6.8.4 Informationsfluss zwischen Behörden und Anlagenbetreibern

Die Befragung von Augenzeugen während des Hochwasserereignisses 2002 ergab, dass während dieser Tage zahlreiche Maßnahmen wegen eines unzureichenden Informationsaustausches zwischen Anlagenbetreibern und den Katastrophenschutzämtern unkoordiniert und zum Teil sogar behindernd waren. Während manche Aktionen vor dem Hintergrund dieser Naturkatastrophe noch verständlich erscheinen mögen, offenbaren sich der unzureichende Informationsfluss und die zum Teil unterschiedlichen Interessenslagen von Anlagenbetreibern und Hochwasserschutzämtern in den derzeit durchgeführten Planungen zur Abwehr von Hochwassergefahren.

Besonders deutlich wird dieser Interessenskonflikt am Beispiel der Fluorchemie in Dohna. Aufgrund des Erlasses vom 28.8.2002 wurden von der Landesregierung des Freistaates Sachsen alle tatsächlich überschwemmten Bereiche als Überschwemmungsgebiete eingestuft. Entsprechend dieser festgelegten Einstufung wurde von der Landestalsperrenverwaltung die Sicherung bzw. Befestigung des Uferbereiches der Müglitz für ein $HQ_{100}$ geplant und z.T schon realisiert. Bei der Berechnung wurde die gesamte Talbreite als Überflutungsfläche angenommen. Tatsächlich befindet sich in diesem Bereich die Fluorchemie, auf deren Betriebsgelände Flusssäure (HF) und Oleum ($SO_3$) gelagert wird. Der Schutz dieser Anlagen, der in den Bestimmungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der Störfall-V vom Betreiber der Anlagen gefordert wird, steht im Widerspruch zu derartigen Interessen bzw. Planungen zum Hochwasserschutz.

### 6.8.5 Handeln im Hochwasserfall

Wie die Analyse der Maßnahmen der Werksleitungen aller untersuchter Betriebe der ausgewählten Modellregionen während des Augusthochwasses 2002 gezeigt hat, ist bei keinem Unternehmen ein gravierender Fehler erkennbar. Die Maßnahmen können alle als vorausschauend und zielorientiert bewertet werden. So veranlaßte

die Werksleitung der Fluorchemie in Dohna ohne offizielle Warnungen nur auf der Basis von Informationen durch Angehörige von Betriebsmitarbeitern den Transport von gefüllten Tankwaggons aus dem gefährdeten Betriebsbereich auf höher gelegene Steckenabschnitte der Bahn.

Bei der Hermania Schirm AG wurde nach Eintritt der Alarmstufe 3 mit dem sofortigen Abtransport gefährlicher Chemikalien in hochgelegene Regionen begonnen. Die rasche Umsetzung stellte sich vor allem deshalb als besonders bedeutsam heraus, weil durch die spätere Aufstellung einer mobilen Schutzwand durch die Stadt vor dem Werksgelände ein Abtransport ab diesem Zeitpunkt unmöglich gemacht wurde.

In Bitterfeld wurden, obwohl keine akute Gefährdung von Betriebsbereichen vorlag, sämtliche Produktionsanlagen des Chemieparks vorsorglich abgeschaltet. Auch die Verantwortlichen der Stadt Dresden haben versucht, die Anwohner in den gefährdeten Gebieten, die über Heizöltanks verfügen, rechtzeitig vor den Hochwassergefahren zu warnen.

Bei den untersuchten Chemieparks sind jedoch große strukturelle und organisatorische Unterschiede erkennbar, die das Handeln im Hochwasserfall beeinflussen können. Während in Leverkusen eine Entscheidungsebene (Vorstand und übergreifende Organisation der Bayer Industry Services) für den gesamten Standort vorhanden ist, gibt es diese zentrale Entscheidungsebene für den Industriepark in Bitterfeld nicht. Infolgedessen wurde schon vor Jahrzehnten eine zentrale Leitstelle für den Katastrophenschutz in Leverkusen eingerichtet. Für den hier betrachteten Fall eines Hochwasserereignisses werden von der Leitstelle alle Informationen erfasst, ausgewertet und die notwendigen Entscheidungen getroffen. Es existiert neben dem standortbezogenen Alarm- und Gefahrenabwehrplan ein separater Alarm- und Gefahrenabwehrplan nur für Hochwassergefahren, in welchem alle erforderlichen Informationen zur Hochwasserbekämpfung dargelegt sind. Ähnliche Leitstellen gibt es in allen größeren Chemiestandorten, deren einzelne Betriebe einem Konzern zuzuordnen sind, wie z.B. bei der BASF in Ludwigshafen.

Der Chemiestandort Bitterfeld ist dagegen von Anfang an als Summe einzelner Betriebe von der vormaligen Treuhand strukturiert worden. Eine übergeordnete Entscheidungsebene für den Gesamtstandort ist nie vorgesehen gewesen. Daher gibt es auch keine zentrale Leitstelle, die z.B. im Hochwasserfall die erforderlichen Maßnahmen koordinieren kann. Aufgrund des Fehlens dieser Strukturen gibt es auch keinen standortbezogenen Alarm- und Gefahrenabwehrplan, auch nicht hinsichtlich der Hochwasserbekämpfung. Erste Ansätze für bestimmte Vorsorgemaßnahmen,

wie z.B. der Vorhaltung von Sandsäcken, werden derzeit von den G7 (7 größte Unternehmen am Standort) durchgeführt. Die Gruppe der G7 ist eine lockere Einrichtung ohne zentrale Entscheidungsbefugnis für den gesamten Chemiestandort. Die Verantwortung zum Hochwasserschutz des Standortes wird in Leverkusen vom Werk bzw. Standortbereich selbst wahrgenommen, im Industriepark Bitterfeld wird dagegen auf die Aufgaben des Landkreises verwiesen, von dem jedoch z.Zt. noch kein externer Katastrophenschutzplan vorliegt.

### 6.8.6 Defizitanalyse bei Hochwasserschutzzielen

Um die untersuchte Modellregion Emmerich wurde ein Hochwasserschutzziel von $HQ_{500}$ realisiert. Der Bau einer Hochwasserschutzwand in Emmerich selbst steht kurz vor dem Abschluss. Damit wird eine wesentliche Lücke in den Hochwasserschutzanlagen dieser Region geschlossen. Es bleibt eine weitere Lücke im Bereich einiger der ortsansässigen Chemieunternehmen, für die das festgelegte Schutzniveau nicht unmittelbar anzuwenden ist, denn die behördlicherseits festgelegten Hochwasserschutzziele gelten nur für öffentliche Deiche und sonstige Hochwasserschutzanlagen. Betriebsbereiche werden von diesen Schutzzielen gar nicht erfasst. Es besteht also die Notwendigkeit im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach BImSchG oder in Form von nachträglichen Anordnungen nach § 17 BImSchG, dass von den Genehmigungsbehörden konkrete Vorgaben zum Hochwasserschutz gegeben werden, damit auch Betriebsbereiche unter diesem Gesichtspunkt tätig werden müssen. Weder das BImSchG noch die Störfall-Verordnung geben derzeit einen Hinweis, welches Schutzziel sicher zu stellen ist.

Ob der Gesetzgeber dieses Defizit gesetzlich oder in einer Vollzugshilfe regeln soll, wird in Kapitel 11 noch ausführlich behandelt. Das anzustrebende Schutzziel sollte sich jedoch in jedem Falle an dem Schutzziel für die öffentliche Deiche orientieren. Im konkreten Fall der betrachteten Unternehmen in Emmerich wäre dies also ein $HQ_{500}$.

# 7 Stand der Technik zum anlagenbezogenen Hochwasserschutz mit Nachrüstungsmöglichkeiten sowie Berechnung von Schadstofffreisetzungen und -ausbreitungen

## 7.1 Einführung

### 7.1.1 Generelle Aussagen zum Stand der Technik

Zur Darstellung des Standes der Technik ist es sinnvoll, nochmals die Definition, wie sie in dem einschlägigem Umweltrecht (u.a. § 3 Abs. 6 BImSchG) abgefasst ist, in Erinnerung zu rufen:

> *Stand der Technik …. ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere die im Anhang … aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen.*

Hierbei können als relevante Kriterien zum Hochwasserschutz auch die Kriterien nach den Punkten 4, 10 und 11 des Anhangs zum BImSchG herangezogen werden.

- 4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im Betrieb erprobt wurden,
- 10. Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern
- 11. Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für den Menschen und die Umwelt zu verringern.

Für den Begriff „Stand der Technik“ genügt es nicht, dass die Wissenschaft Lösungen für bestimmte Verfahren erforscht hat; es muss sich vielmehr um Techniken handeln, die bereits entwickelt sind [Czychowski, M; Reinhardt, M., 2003]. Die Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen müssen nach dem Wortlaut praktisch ge-

eignet erscheinen, die Ziele des integrierten Umweltschutzes zu sichern. Undurchführbares kann nicht als „fortschrittlich“ bezeichnet werden. Das bedeutet, die Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen müssen „verfügbar“ sein, bzw. „zur Verfügung stehen“. Die Anlagen müssen, wenn sie vom Unternehmer nicht selber entwickelt werden, auf dem Markt angeboten werden. Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen müssen realisiert worden sein. Erforderlich ist die Gewähr der praktischen Eignung. Eine erfolgreiche Betriebserprobung muss noch nicht stattgefunden haben.

In der StörfallV findet sich folgende Definition des Standes der Sicherheitstechnik:

> *“Der Stand der Sicherheitstechnik umfasst den Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung ihrer Auswirkungen gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind“.*

Diese Ausführung macht klar, dass der Stand der Technik bzw. der Sicherheitstechnik rechtlich unbestimmt und juristisch nicht abschließend zu definieren ist. Dies ist gewollt und erscheint vernünftig, da einerseits die rechtlichen Vorschriften von Detailregelungen frei bleiben und eine flexible Anpassung an eine fortschrittliche Technik stets möglich ist. Der Stand der Technik und Sicherheitstechnik kann daher aufgrund des ihm innewohnenden dynamischen Entwicklungsablaufes nicht ausschließlich in Regelwerken oder Richtlinien festgelegt oder wiedergegeben werden.

Zur Ermittlung fortschrittlicher Betriebsweisen und Einrichtungen sind daher i.d.R. individuelle z.T. aufwendige technische Betrachtungen unterschiedlicher Tiefe je nach der Komplexität von Anlagen oder deren Komponenten anzustellen. Ein Leitfaden zum Auffinden vorliegender Informationsquellen und Dokumentationen kann hierbei die SFK GS-33 “Schritte zur Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik“ sein [Störfallkommission, 2002], wenngleich, wie dort auch dargelegt wird, vertrauliche technische Anlagendokumentationen der Planer und Betreiber zum Stand der Technik aufgrund von Geschäfts- und Betriebsgeheimnissen i.d.R. nicht verfügbar sind. Der Leitfaden zeigt allerdings nur den Weg zur Findung des Standes der Sicherheitstechnik auf; er ist selbst untechnisch. Im Bezug auf die rechtlichen Grundlagen zur Ermittlung des Standes der Technik ist auf das Rechtsgutachten für den betreffenden SFK-Arbeitskreis hinzuweisen [Neuser, 2000].

Eine weitere Schwierigkeit bei der Ermittlung des Standes der Technik ergibt sich durch die Tatsache, dass es ca. 40.000 technische Normen, Richtlinien und Regelwerke gibt, von denen allein ca. 4.000 einen Bezug zur Sicherheit aufweisen und in wichtigen Bereichen auch auf den Stand der Technik und Sicherheitstechnik abheben.

Schwierig gestaltet sich die Feststellung des Standes der Sicherheitstechnik für Sachverständige beim Prüfen einer Anlage oder eines Betriebsbereiches dadurch, dass häufig die zur Prüfung vorgelegten Anlagendokumentationen, wie z.B. der Sicherheitsbericht, nur eine komprimierte Darstellung der komplexen Anlagentechnologie sind.

Bei der Anwendung des Standes der Technik zum betrieblichen Hochwasserschutz und von Nachrüstungsmaßnahmen sind sowohl technisches Hintergrundwissen als auch die Einbindung von Vergleichsgrößen hinsichtlich ähnlich gelagerter Anlagentypen und Fälle von Vorteil und die Beurteilung von Anlagen nach der StörfallV bzw. § 19 g des WHG auch individuell mit Einzelkonzepten vorzunehmen. Analoge Ausführungen finden sich im Forschungsbericht „Weiterentwicklung des Dokumentationssystems zum Stand der Sicherheitstechnik“ 204 04 903 des Umweltbundesamtes [UBA, 2001].

Eine differenzierte Betrachtung der Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik, gegliedert nach Maßnahmen in Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten ist für Betriebsbereiche nicht möglich, weil weder das BImSchG noch die Störfall-Verordnung eine solche Unterscheidung kennen. Ebenso wie die StörfallV gehen auch die Technischen Regelwerke, die in **Tabelle 7.1.2.1** aufgeführt sind, nur von der Gefahrenquelle Hochwasser aus. Auch die in der Praxis realisierten Maßnahmen lassen sich nicht entsprechend ihrem Einsatz für ein Überschwemmungsgebiet oder ein überschwemmungsgefährdetes Gebiet einteilen. Die am Markt verfügbaren Systeme wurden entwickelt, um eine Hochwassersituation zu beherrschen und zwar unabhängig vom Ort ihres Einsatzes.

Im Unterschied dazu enthalten die VAwS-Anlagenverordnungen einen gebietsbezogenen Anwendungsbereich. Die Anforderungen zum Hochwasserschutz beziehen sich derzeit ausschließlich auf Überschwemmungsgebiete. Weil der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ noch nicht in den VAwS-Anlagenverordnungen, wie unter Kapitel 3.5.5 schon dargelegt wurde, definiert ist, gibt es rechtlich auch noch keine speziellen Anforderungen an Anlagen in diesen Gebieten. Gleichwohl wurden in der Praxis zahlreiche technische und organisatorische Maßnahmen umge-

setzt, die den „realisierten“ Stand der Technik repräsentieren. Grundsätzlich ist schon an dieser Stelle festzuhalten, dass alle Maßnahmen zur Sicherung von VAwS-Anlagen in Überschwemmungsgebieten auch in überschwemmungsgefährdeten Gebieten anwendbar sind.

### 7.1.2 Technische Regelwerke zum Hochwasserschutz für Komponenten und Teile von Betriebsbereichen gemäß StörfallV

Die in der Tabelle 7.1.2.1 zusammengestellten Regelwerke für bestimmte technische Komponenten und Betriebsbereichsteile beinhalten einen Bezug zur Gefahrenquelle Hochwasser. Die jeweiligen Anforderungen sind dann zu realisieren, wenn eine potenzielle Gefährdung der Anlage durch Hochwasser nicht ausgeschlossen werden kann. Die Berücksichtigung dieser Technischen Regelwerke bildet die Voraussetzung für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen nach dem Stand der Technik.

Darüber hinaus gibt es weitere technische Hinweise, wie z.B. die VDI-Richtlinie 6004, Blatt 1 zum Schutz der technischen Gebäudeausrüstung vor Hochwasser [VDI, 2006], sowie die Empfehlungen der IKSE [IKSE, 2003] für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen, insbesondere für private Heizöltanks, die in Kapitel 3.4.1 ausführlich dargestellt sind. Alle genannten Verordnungen und Regelwerke sind im Falle einer potenziellen Gefährdung der Anlage durch Hochwasser anzuwenden.

Neben den Anforderungen in den Regelwerken gibt es in der Praxis zahlreiche technische und organisatorische Maßnahmen zum Hochwasserschutz, die nicht in den Regelwerken dokumentiert sind und in den folgenden Kapiteln 7.2 und 7.3 dargestellt werden.

**Tabelle 7.1.2.1**: Regelwerke mit spezifischen Anforderungen für den Fall einer Gefährdung durch Hochwasser

| Regelwerk/Verordnung | Anwendungsbereich | Anforderung |
|---|---|---|
| TRB 600 | Aufstellung von Druckbehältern | Auftriebssicherheit |
| TRB 801, Anlage zur Nr. 25 | Flüssiggaslagerbehälteranlagen | Anlagenaufstellung bei Hochwasser |
| TRR 100<br>TRR 110<br>TRR 120 | Rohrleitungen | keine unzulässige Lageveränderung |
| TRD 452- Anlage 1<br>TRD 452-Anlage 2 | Anlagen zur drucklosen Lagerung von Ammoniak-Wassergemischen für Dampfkesselanlagen | Auftriebsicherheit (gegenüber Grundwasser) |
| TRbF 20 | Läger | Auftriebssicherheit |
| TRbF 40 | Tankstellen, unterirdische Tanks | Auftriebssicherheit |
| TRAC 301 | Calciumcarbidlager | Schutz vor Überschwemmungswasser |
| TRGS 514 | Lagern sehr giftiger und giftiger Stoffe in Verpackungen und ortsbeweglichen Behältern | Errichtung hochwassersicherer Läger |
| TRGS 555 | Betriebsanweisungen und Unterweisungen nach § 20 GefStoffV | Anweisungen für das Verhalten bei Hochwasser |
| TRAS 110 | Ammoniak-Kälteanlagen | Vorkehrungen gegen Hochwasser |
| Sicherheitstechnische Anforderungen an Flüssiggasanlagen (Erlässe – Hessen und Niedersachsen) | Läger und Abfüllanlagen | Schutz des Anlage vor Hochwasser |

## 7.2 Technische Maßnahmen zum vorbeugendem Hochwasserschutz

Zur Bewertung der verschiedenen Maßnahmen zum Hochwasserschutz ist die Kenntnis der Rahmenbedingungen eines Hochwasserereignisses von entscheidender Bedeutung. Hierzu zählen im Einzelnen:

Hochwasserstand — Für einen wirksamen Hochwasserschutz ist die Kenntnis möglicher Hochwasserstände erforderlich. Hierzu ist eine enge Abstimmung mit den Behörden erforderlich.

| | |
|---|---|
| Strömungs-geschwindigkeit | Je nach Lage des Betriebes müssen auch die möglichen Strömungsgeschwindigkeiten berücksichtigt werden, weil hierdurch erhebliche Kräfte auf Anlagen ausgeübt werden können. Dies gilt insbesondere für Anlagen an Gebirgsbächen (z.B. Müglitz) sowie für Anlagen unmittelbar hinter Deichen, die durch einen Deichbruch gefährdet werden könnten. Die Strömungsgeschwindigkeit ist auch bei der Auswahl von mobilen Schutzwänden zu berücksichtigen. |
| Treibgut | Die Gefahren durch Treibgut sind vor allem bei Gewässern mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten besonders zu beachten. |
| Eisgang | Auch durch Eisgang können Beschädigungen an Anlagen hervorgerufen werden. Daher sollte auch der Eisgang bei betrieblichen Maßnahmen nicht unbeachtet bleiben. |

Die Analyse dieser Randbedingungen muss grundsätzlich individuell erfolgen und hängt u.a. von der Flussgebietscharakteristik und von der Lage der Anlage am Gewässer ab. Neben den verschiedenen Gefahren, die mit einem Hochwasser verbunden sein können, sind auch die potenziellen Eintrittspfade des Wassers in einen Betrieb zu beachten. Folgende Wege des Wassers sind zu berücksichtigen:

- Eintritt von Oberflächenwasser (Beispiel: Fluorchemie in Dohna)
- Eintritt durch die Abwasserkanalisation (Beispiel: Dresden)
- Eintritt über das Kanalsystem zur Ableitung von Kühl- oder Abwasser

Darüber hinaus ist zeitlich verzögert auch mit einem Anstieg des Grundwasserspiegels zu rechnen, wodurch ebenfalls eine Gefährdung ausgelöst werden kann.
Zu einer effektiven Gefahrenabwehr gehört auch die Analyse möglicher eintretender Schäden im Hochwasserfall. Beispielhaft werden folgende Ereignisse aufgezählt:

- Abreißen von Rohrleitungen durch Auftrieb von Behältern oder Treibgut
- Verformen von Behältern oder Tanks durch Auftrieb oder äußeren Druck
- Leckschlagen von Behältern oder Tanks durch Treibgut
- Abriss von Kabeln zur Energieversorgung oder Steuerung von Einzelkomponenten
- Beschädigung oder Abriss von Armaturen

- Forttreiben von Behältern (z.B. Flüssiggasbehälter)
- Überspülung von Chemikalienlagern
- Ausfall von Trafostationen bzw. der Energieversorgung
- Ausfall von Kläranlagen mit Folgen für den Betrieb
- Einschränkung der Erreichbarkeit von Betriebsbereichen

Insbesondere die letzten drei Punkte verdeutlichen, dass auch Gefahren für einen Betrieb auftreten können, deren Ursachen außerhalb des Betriebes liegen. In Bitterfeld waren z.B. sowohl die Kläranlage als auch eine wichtige Trafostation gefährdet. In Bezug auf eine notwendige Darlegung in Sicherheitsberichten wird auf Kapitel 11 verwiesen.

In den folgenden Abschnitten werden die in der Praxis realisierten technischen und organisatorischen Maßnahmen beschrieben, die den gegenwärtigen Stand der Technik zum Hochwasserschutz von VAwS-Anlagen und Betriebsbereichen repräsentieren. Dafür wird analog der Einteilung der Flussgebietskommissionen zwischen trockener und nasser Vorsorge unterschieden. Die Darstellungen basieren auf den Untersuchungen in den ausgewählten Modellregionen, auf Empfehlungen bzw. Merkblättern verschiedener Fachkommissionen sowie den Fachkenntnissen der Berichterstatter. Die Empfehlungen und Merkblätter werden unter dem Gesichtspunkt der planbaren betrieblichen Gefahrenabwehr für Betriebsbereiche, VAwS-Anlagen und Flüssiggaslagertanks diskutiert. Daher ergibt sich im Vergleich zu den Empfehlungen und Merkblättern der Fachkommissionen zur Gefahrenabwehr bzgl. der genannten Anlagen ein differenzierteres Bild des Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik. Diese Unterschiede werden in den folgenden Detailausführungen herausgearbeitet.

Die verschiedenen Maßnahmen zum Hochwasserschutz mit den Möglichkeiten der Nachrüstung von Anlagen werden ausschließlich unter technischen Gesichtspunkten dargestellt und bewertet. Welche Anforderungen in Abhängigkeit vom festgelegten Schutzniveau (Risikoproportionalität) in Form von Verordnungen, Verwaltungsvorschriften im Einzelnen empfohlen werden, wird in Kapitel 11 erläutert.

## 7.2.1 Stand der Technik zur trockenen Vorsorge

Die trockene Vorsorge kann entweder am Gebäude selbst oder um das Gebäude bzw. den Betriebsbereich herum erfolgen. Wie die Untersuchungen in den Modellregionen ergaben, wird bei der trockenen Vorsorge primär versucht, den gesamten Betriebsbereich bzw. das ganze Betriebsgelände vor Hochwasser zu schützen. Hierzu ist es erforderlich, alle Schnittstellen zwischen äußerem und innerem Bereich zu ermitteln (**Abbildung 7.2.1.1**).

Die Maßnahmen zur trockenen Vorsorge können, je nach örtlichen Gegebenheiten, prinzipiell für folgende Anlagen eingesetzt werden:

- Betriebsbereiche,
- VAwS-Anlagen sowie sonstige gefährdete Bereiche eines Betriebes,
- VAwS-Anlagen im privatem Bereich (Heizöltanks) sowie die Lagerung von Flüssiggas.

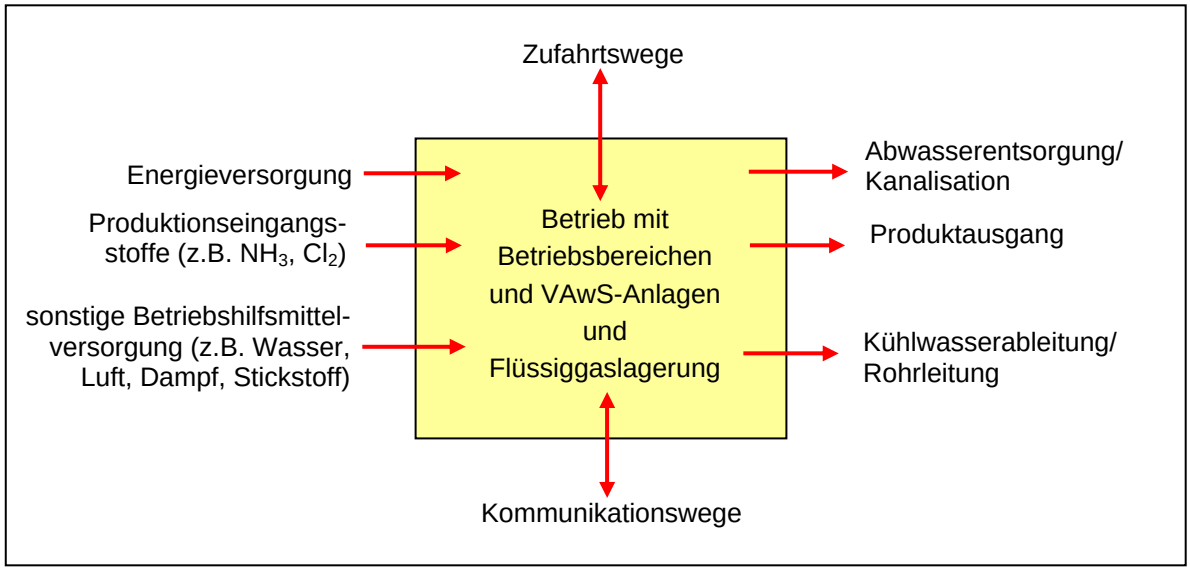



**Abbildung 7.2.1.1**: Schnittstellen bei der trockenen Vorsorge

Sie kann durch stationäre und instationäre Maßnahmen sicher gestellt werden. Am Beispiel eines fiktiven Betriebes sind in Abbildung 7.2.1.1 alle Schnittstellen bei der trockenen Vorsorge dargestellt, wobei selbstverständlich klar ist, dass nicht in jedem Falle jede Schnittstelle zu berücksichtigen ist. Beispielsweise ist für die Flüssiggaslagerung die Kühlwasserableitung nicht relevant.

#### 7.2.1.1 Stationäre Maßnahmen

Als Ergebnis der Untersuchungen in den Modellregionen sowie weiteren Recherchen durch die Berichterstatter kann der Stand der Technik stationärer Maßnahmen im Einzelnen wie folgt zusammengefasst werden:

Anheben des Geländeniveaus

Die Bayer Bitterfeld GmbH ließ vor dem Bau neuer Produktionsanlagen auf der Grundlage einer möglichen Hochwassergefährdung ihr Betriebsgelände anheben. Somit wurde eine Überschwemmung im August 2002 verhindert. Das Anheben des Geländeniveaus ist ein sicherer Weg, Betriebsbereiche, VAwS-Anlagen sowie Flüssiggasbehälter zu schützen, jedoch in der Regel nur bei Neuanlagen realisierbar. Ob bei älteren Betriebsbereichen eine Anhebung des Geländes möglich ist, muss im Einzelfall betrachtet werden. Denkbar ist auch eine lokale Anhebung einzelner Anlagen. Auf diese Weise wird auch ein höherer Schutzgrad vor Treibgut erreicht.

Die IKSE empfiehlt für oberirdische VAwS-Anlagen im Freien grundsätzlich die Installation oberhalb der höchsten bisher eingetretenen Wasserspiegellage (HHQ) und mindestens die, die einem $HQ_{100}$ entspricht. Dies gilt auch für Rohrleitungen. Bei einer solchen Aufstellung muss die Anlage vor Abschwemmung und Treibgut gesichert werden. Die pauschale Angabe eines HHQ und eines $HQ_{100}$ ist jedoch problematisch und entspricht nicht dem Stand der Technik, weil sie sich nicht an den örtlichen Schutzzielen, die auch ein $HQ > HQ_{100}$ als Grundlage haben können, orientiert. In Kapitel 11 wird auf diese Zusammenhänge detailliert eingegangen.

Eindeichung

Größere Betriebsbereiche werden oftmals durch Deiche geschützt, wie z.B. Tanklager in Raffinerien. Eindeichungen mit Sperrbauwerken wurden beispielsweise bei der DOW Deutschland GmbH in Stade an der Unterelbe realisiert. Das mit diesen Maßnahmen erreichbare Schutzniveau ist jedoch nicht dem bei einer ausreichenden Höhenlage gleichzusetzen, weil das Risiko z.B. eines Deichversagens oder der Beschädigung durch Treibgut oder Eis je nach Anlagenstandort bestehen bleibt. Zur Erreichung eines hohen Schutzniveaus hat die Errichtung von

Flussdeichen nach dem Stand der Technik zu erfolgen, der in DIN 19712 dargelegt ist.

Schutzwände

Feste Schutzwände wurden z.B. zur Sicherung des Bayer Chemieparks Leverkusen oder zur Sicherung des Betriebsgeländes der Uniqema in Emmerich errichtet (vgl. Abbildung 6.5.4.2.2 und Abbildung 6.5.3.1.2). Ähnlich wie bei der Eindeichung wird bei der Errichtung von Schutzwänden nicht nach zu schützenden Anlagen (Betriebsbereiche, VAwS-Anlagen oder Flüssiggastanks) unterschieden. Grundlage zur Bemessung der Höhe der Schutzwände ist das festgesetzte Schutzziel, über dessen Festlegung in Kapitel 11 ausführlich diskutiert wird.

Kanalverschlüsse

Sichere Verschlusssysteme für Abwasserkanäle oder Kühlwasserableitungen sind Rückschlagklappen, die den Wasserdruck des Gewässers nutzen, um den Wassereintritt in das betriebliche Kanalsystem zu verhindern. Ein Beispiel ist in **Abbildung 7.2.1.1.1** dargestellt. Nachteilig bei derartigen Systemen ist, dass mit einem solchen Verschluss auch kein Wasser mehr abgeleitet werden kann. Verschlusssysteme sind auch für private Heizöltanks von großer Bedeutung und sollten standardmäßig für Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten eingebaut werden. Produktionsbetriebe, die weder Abwasser noch Kühlwasser abgeben können, müssen u.U. die Produktion herunterfahren.

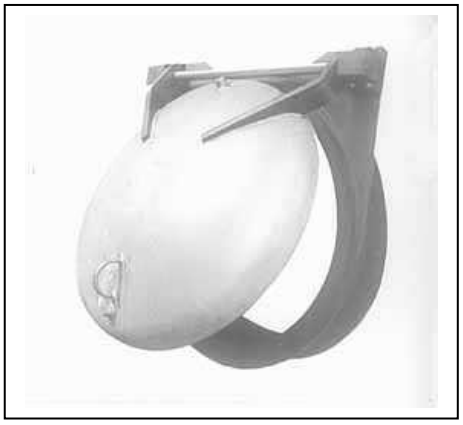


**Abbildung 7.2.1.1.1**:
Beispiel einer Rückschlagklappe

Um den Produktionsbetrieb möglichst lange aufrecht erhalten zu können, erfolgt die Abgabe von Kühlwasser und Oberflächenwasser im Bayer Chemiepark Leverkusen über eine

Druckrohrleitung, die über die Hochwasserschutzwand führt, wobei der normale Kanal abgeschiebert wird. Das in **Abbildung 7.2.1.1.2** dargestellte Ableitungssystem wird in der Regel auch in Kläranlagen eingesetzt, die wie am Niederrhein durch Deiche geschützt sind.

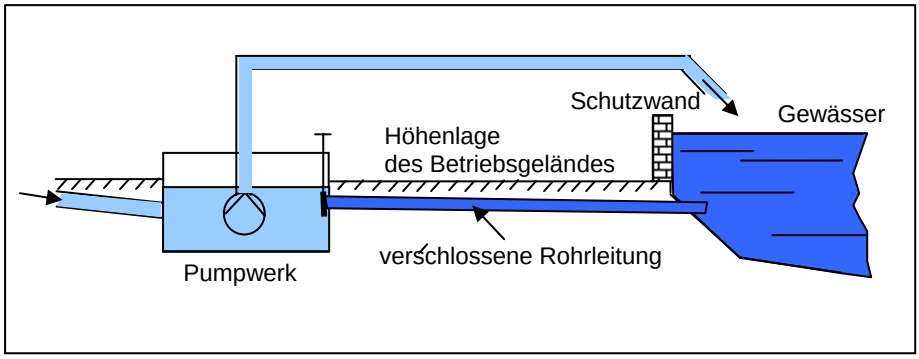



**Abbildung 7.2.1.1.2**: Oberflächen- und Kühlwasserableitung im Bayer Chemiepark Leverkusen

In wie weit die Entnahme von Kühlwasser durch Hochwasser gefährdet wird, muss im Einzelfall geprüft werden. Zahlreiche Unternehmen beziehen ihr Kühlwasser direkt aus dem Gewässer und/oder aus Brunnen als Uferfiltrat. Mit Einstellung der Kühlwasserversorgung muss durch Verschlusssysteme (z.B. Schieber) sichergestellt sein, dass kein Wasser über die Kühlwasserversorgungsleitungen auf das Betriebsgelände gelangen kann.

Speicherbehälter für Abwasser

Die Ableitung von Abwasser ist immer dann eingeschränkt, wenn die nachgeschaltete Kläranlage vom Hochwasser bedroht ist und gegebenenfalls abgeschaltet werden muss. Dies kann nicht nur direkt einleitende, sondern auch indirekt einleitende Betriebe betreffen. In diesen Fällen kann es für die Aufrechterhaltung der Produktion bedeutsam sein, wenn eine Zwischenspeicherung des Abwassers möglich ist. Im Chemiepark Leverkusen werden die Abwässer in einem Speicher gesammelt, der für mehrere Tage die Produktionsabwässer der verschiedenen Betriebe aufnehmen kann.

Wenn private Haushalte im Rahmen der trockenen Vorsorge die Ableitung in den Kanal verschlossen haben, sollte gleich-

zeitig auch die Möglichkeit einer Zwischenspeicherung von Abwasser im Haus möglich sein. Nach Rückgang des Hochwassers kann dann das Abwasser im freien Gefälle oder mit Hilfe einer Pumpe abgeleitet werden.

Energieversorgung

Die Energieversorgung muss, solange Produktionsanlagen in Betrieb sind, zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Dies bedeutet, dass eine doppelte unabhängige Einspeisung über 2 Schienen vorhanden sein muss. Dies stellen zahlreiche Betriebsbereiche z.B. über eine Notstromversorgung (meist Notstromgenerator mit Dieselaggregat) sicher, damit ein ordnungsgemäßes Abfahren der Anlage gewährleistet ist. (Betriebsbereiche müssen über eine Notstromversorgung zumindest mit Batteriepufferung verfügen.) Für die relevanten MSR/PLT-Systeme zum sicheren Abfahren oder so genannten Stillstands-HOLD können auch Batterien eingesetzt werden.

Für den Fall eines sogenannten Stand-By-Betriebes im Hochwasserfall (siehe Fluorchemie Dohna Kap. 6) muss die Kraftstoffreserve für das Notstromdieselaggregat auf die voraussichtliche Hochwasserdauer bemessen sein.

Die wichtigsten Unternehmen auf dem Gelände des Chemieparks Bitterfeld hatten vorsorglich ihre Anlagen während der Hochwassergefahr heruntergefahren, nachdem der örtliche Energieversorger keine 100 %ige Garantie für die Sicherstellung der Stromversorgung geben konnte.

Betriebshilfsmittelversorgung

Die Versorgungsleitungen für die verschiedenen Betriebshilfsmittel befinden sich bei größeren Industrieparks u.U. außerhalb von z.B. eingedeichten Flächen. Es muss für den jeweiligen Standort sichergestellt werden, dass eine Beschädigung der Versorgungsleitungen nicht zu befürchten ist. Da es sich oftmals um Rohrbrücken handelt, ist insbesondere die Gefahr von Treibgut zu beachten. Im Einzelnen sind folgende Maßnahmen zur Sicherung der Betriebsmittelversorgung bei Hochwasser zu nennen:

- Druckluftversorgung durch
  - ausreichende Speicherung
  - Not-Kompressor mit Dieselaggregat
- Stickstoffversorgung durch
  - ausreichende Speicherung
  - Not-Kompressor mit Dieselaggregat
- Reinwasserversorgung
- Kühlwasserversorgung durch
  - ausreichende Kühlwasserspeicherung in Tanks oder Ponds
  - ständige Druckhaltung durch Jockeypumpensysteme mit Umlaufregelung
  - Kühlwasserentnahmeanschluss an Gewässer
  - Notkühlwasserpumpen mit Dieselantrieb
- ausreichende Lagermengen von Dieselkraftstoff

Die Kalkulation der Lagermenge von Dieselkraftstoff oder der Rückhaltekapazität für Abwasser hängt, wie zuvor schon erläutert wurde, von der voraussichtlichen Dauer der Hochwasserwelle ab.

Kommunikationswege

Entscheidend für alle organisatorischen Maßnahmen ist die Kommunikation mit den Katastrophenschutzämtern. Wie die Ereignisse im August 2002 gezeigt haben, waren wegen der schweren Regenfälle die Funkmasten der Handy-Netze in den betroffenen Regionen teilweise zerstört oder deren Energieversorgung beendet. Daher ist es erforderlich, unterbrechungsfreie Standleitungen mit einer Eigenstromversorgung über Festnetz zu den Behörden zu installieren. Darüber hinaus dürfen nicht alle Rufnummern der Öffentlichkeit bekannt sein, weil sonst die Leitungen überlastet werden, wie dies im Landratsamt Bitterfeld geschehen ist.

#### 7.2.1.2 Instationäre Maßnahmen

Ist ein ausreichender stationärer Hochwasserschutz aufgrund komplexer Anlagenstrukturen aus Gründen der Logistikverbindungen, wie z.B. Straßen- oder Wasserstraßenanbindung oder aus Gründen der Geländestruktur nicht möglich, dann müssen entsprechende Maßnahmen und Einrichtungen des mobilen Hochwasserschutzes Anlagen und Betriebsbereiche schützen. Dieses sind mobile Sperren mit gleichzeitigen Entwässerungssystemen der gefährdeten Bereiche.

Vom Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) wurde ein Merkblatt zum mobilen Hochwasserschutz mit folgenden Zielen vorgelegt [BWK, 2005]:

- Darstellung der Grundlage für den sicheren und gezielten Einsatz von planbaren, mobilen Hochwasserschutzsystemen
- Entwicklung von Kriterien für Konstruktion, Statik, Gründung und Logistik
- Formulierung von Mindestanforderungen der Standsicherheit, Betriebssicherheit und funktionalen Sicherheit
- Erarbeitung von Auswahlkriterien verschiedener Systeme und Konstruktionen unter Abwägung des Risikos
- Entwicklung von Prüfkriterien für die Eignung planbarer, mobiler Hochwasserschutzsysteme in Form genereller Kriterien ohne Berücksichtigung spezieller Standortgegebenheiten

Das Merkblatt wurde erarbeitet, weil für mobile Hochwasserschutzwände bislang noch keine allgemein anwendbaren Standards existierten, so dass noch große Unsicherheiten bei der Planung, Konzeptionierung und Beurteilung solcher Schutzeinrichtungen bestanden. Das BWK-Merkblatt bietet eine Grundlage für den sicheren und gezielten Einsatz von planbaren, mobilen Hochwasserschutzsystemen.

Mobile Hochwasserschutzsysteme können unterschieden werden in Systeme *mit* und *ohne* permanente Vorkehrungen. Systeme mit permanenten Vorkehrungen kommen grundsätzlich geplant zum Einsatz. Dagegen können Systeme ohne permanente Vorkehrungen sowohl geplant als auch notfallmäßig zum Einsatz kommen. Beim notfallmäßigen Einsatz sind keinerlei Randbedingungen zum Einsatzort und der zu beherrschenden Gefahr bekannt. Daher sind die Unsicherheiten beim geplanten Einsatz wesentlich geringer als bei einem notfallmäßigen Einsatz.

Im BKW-Merkblatt wird zwar das gesamte Spektrum der derzeit verfügbaren Systeme des mobilen Hochwasserschutzes beschrieben, jedoch wird ausdrücklich festgestellt, das die statischen, geotechnischen und logistischen Bemessungskriterien sich auf solche Systeme beschränken, bei denen ein gesicherter Kraftschluss mit dem Untergrund gewährleistet werden kann. Nur unter diesen Bedingungen lassen sich bestimmte Sicherheitsanforderungen nachweisen. Für den Schutz von Betriebsbereichen, betrieblichen VAwS-Anlagen und Flüssiggastankanlagen ergibt sich somit der Stand der Technik durch den gesicherten Kraftschluss mit dem Untergrund und dem damit verbundenen sicherheitstechnischen Nachweis. Darüber hinaus ist die Festigkeit des Systems gegen Treibgut sowie scharfkantigen Gegenständen ein weiteres Kriterium. Systeme ohne gesicherten Kraftschluss sind nach Auffassung der Berichterstatter nur zum Schutz von Öltankanlagen in privaten Haushalten einsetzbar.

Systeme mit permanenten Vorkehrungen

Beispiele für Systeme mit permanenten Vorkehrungen sind Dammbalkensysteme, Torsysteme, aufklapp- oder aufschwimmbare Systeme, Schlauchwehrsysteme und Glaswandsysteme.

Dammbalken-Systeme

Hochwertige mobile Schutzwände werden als Dammbalkensysteme ausgeführt und sind seit vielen Jahren für den Hochwasserschutz im Einsatz (**Abbildung 7.2.1.2.1**).

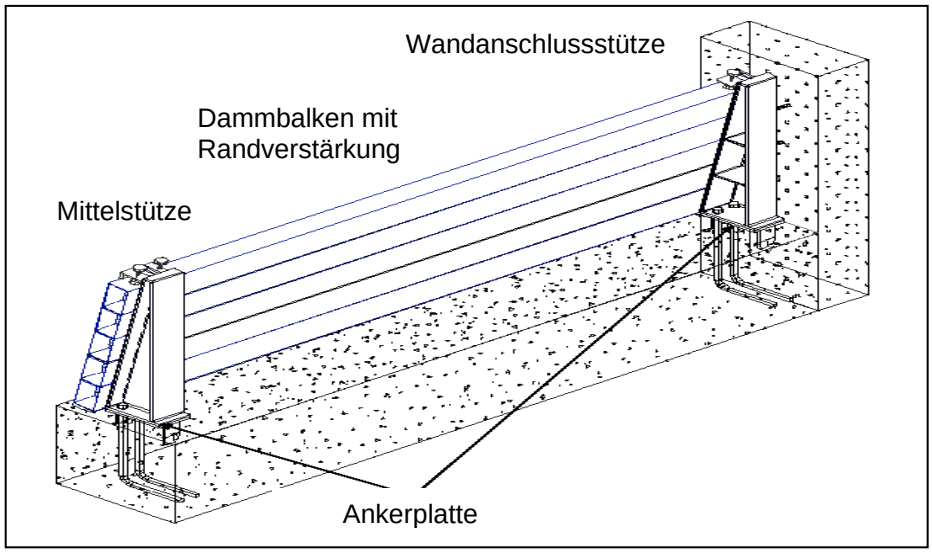



**Abbildung 7.2.1.2.1**: Beispiel eines Dammbalkensystems mit Verankerung in einer Bodenplatte

Um die jeweiligen Staudrücke aufnehmen zu können, müssen mobile Schutzwände fest im Boden verankert werden. Grundlage einer Berechnung muss der hydrostatische Wasserdruck aus Höhe und Anströmgeschwindigkeit, das Eigengewicht nach DIN 1055 sowie ein zu bemessender Zuschlag zur Aufnahme von Kräften durch Treibgut sein. (Berechnungsgrundlage in Anlehnung an DIN 19704 und nach DIN 19569). Das bislang am häufigsten ausgeführte Dammbalkensystem besteht aus einzeln übereinander gestapelten Balken mit seitlichen Befestigungen in Mauernischen sowie an demontierbaren oder fest eingebauten Stützen. Als Dammbalken werden beispielsweise verzahnte, untereinander abgedichtete Profile aus Aluminium oder Edelstahl eingesetzt, die sich bei steigendem Pegelstand mit Wasser füllen und somit die Stabilität der Wand erhöhen. Für die Stabilität einer Wand ist der Achsabstand der Stützen in Abhängigkeit von der Stauhöhe entscheidend. Im Bayer Chemiepark Leverkusen erfolgt der Hochwasserschutz im Bereich der Hafenanlagen durch ein solches Schutzsystem.

Mit den verschiedenen Dammbalkensystemen lassen sich Schutzhöhen von 4 m und mehr realisieren. Die Schutzwandlänge ist unbegrenzt und kann individuell der lokalen Situation angepasst werden. Sowohl die Stützen als auch die Balken müssen von geschulten Kräften montiert werden. Die Kosten für Dammbalkensysteme bezogen auf eine Höhe von 0,5 m liegen zwischen 800 – 1.600 € pro Meter. Die Kosten können je nach Untergrund und System stark differieren.

Torsysteme

Je nach örtlichen Randbedingungen sind Hochwasserschutztore in die stationären Sicherungsmaßnahmen zu integrieren. Ein Beispiel eines Drehtores ist Abbildung **7.2.1.2.2** dargestellt.

**Abbildung 7.2.1.2.2**: Hochwasserschutztor bei der DOW in Stade

aufklappbare Systeme

**Abbildung 7.2.1.2.3** zeigt ein Beispiel für ein aufklappbares System.

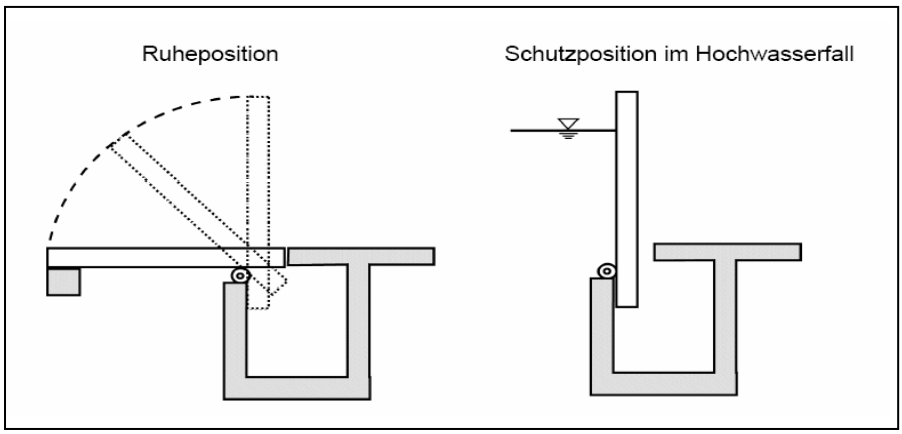



**Abbildung 7.2.1.2.3**: Prinzip des aufklappbaren Bürgersteigs [Köngeter, 2002]

Der klappbare Bürgersteig besteht aus Stahlelementen, die innerhalb von 15 Minuten mit Hilfe einer elektrischen Antriebsvorrichtung automatisch aktiviert werden. Bei Stromausfall garantieren ein Notstromaggregat sowie eine Handkurbel den reibungslosen Betrieb. Die hydraulischen Belastungen der Schutzwand sind aufgrund der hydrostatischen Druckverteilung eindeutig berechenbar. Um die Wellenbewegung abzufangen, wird zusätzlich ein dynamischer Zuschlag berücksichtigt. Leckwasser oder infolge der Wind-Wellen-Bewegung über die Schutzwand hinwegschwappendes Wasser kann problemlos abgeführt

oder in den Fluss zurück gepumpt werden. Kosten für ein solches System wurden vom Hersteller nicht vorgelegt. Ein anderes Beispiel für ein aufklappbares System zeigt die **Abbildung 7.2.1.2.4**.

**Abbildung 7.2.1.2.4**: Aufklappbare Wand

aufschwimmbare Systeme

Die Bildserie in **Abbildung 7.2.1.2.5** zeigt eine Wand, die nach nach Prinzip der kommunizierenden Röhren nach oben gedrückt wird. Fällt das Wasser wieder, wird es aus dem Schacht mit Hilfe einer Pumpe entfernt. Auch für ein solches System konnten die Kosten vom Hersteller aufgrund der fehlenden Planungsgrundlagen nicht vorgelegt werden.

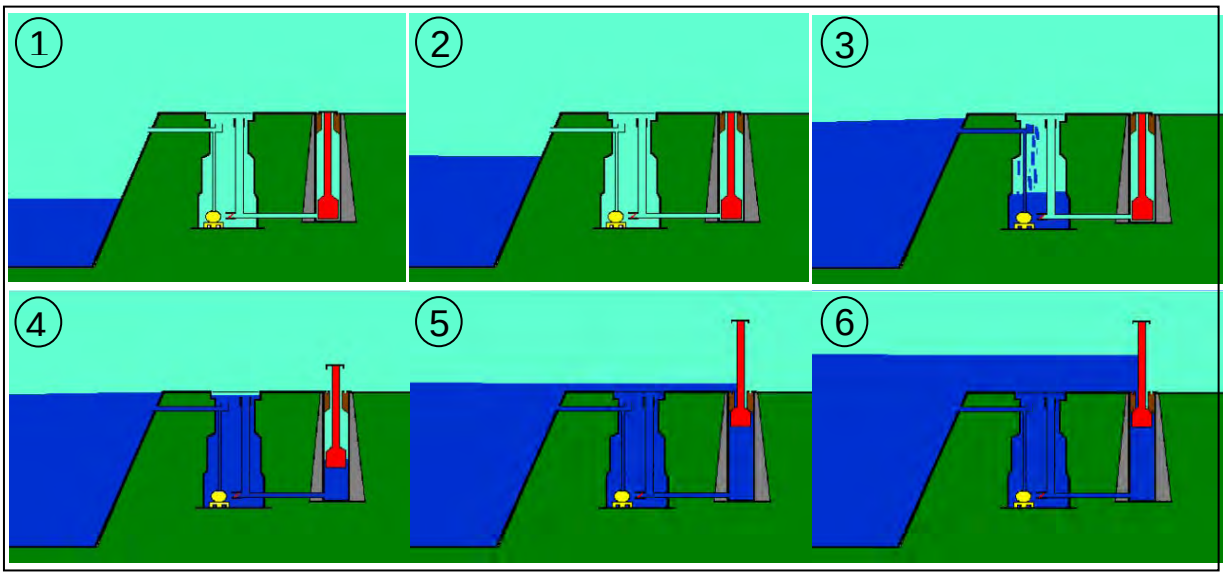



**Abbildung 7.2.1.2.5**: Prinzip der auffahrbaren Wand

Glaswandsysteme

Glaswandsysteme sind ähnlich den Dammbalkensystemen über Flanschverbindungen fest in einer Bodenplatte verankert. Die Glaswand besteht aus Sicherheitsgründen aus vielscheibigem Sicherheitsglas. Sie werden dann eingesetzt, wenn die Eigenschaft „Sichtbarkeit“ von besonderem Interesse ist.

**Abbildung 7.2.1.2.6**:
Beispiel eines Glaswandsystems

Weitere Systeme sind z.B. Schlauchwehr- oder Kissensysteme, bei denen die Hochwasserschutzwand aus einem oder mehreren teilweise am Boden befestigten Gummischläuchen besteht, die mit Wasser gefüllt werden. Die Gesamthöhe solcher Systeme kann bis zu 2,00 m betragen. Es können damit nicht begrenzte Längen durch Aneinanderreihung einzelner Elemente erreicht werden.

<u>Sicherheitsnachweise für Systeme mit permanenten Vorkehrungen</u>

Für die vorgestellten Systeme mit permanenten Vorkehrungen sind Sicherheitsnachweise auf der Basis bestimmter Lastannahmen zu erbringen, die die technischen Grundlagen für Genehmigungen oder nachträgliche Anordnungen bilden. Im Einzelnen sind folgende Einwirkungen zu betrachten:

- Hydrostatischer Druck
- Strömungsdruck in Abhängigkeit vom Anströmwinkel
- Wasserspiegellage am Flussaußenbogen aufgrund der Überhöhung im Vergleich zum mittleren Wasserspiegel
- Wellendruck
- Anprall von Treibgut und Eisstoß

- Windlast
- Personenlasten
- Fahrzeuganprall
- Polderseitiger Wasserdruck für Standorte mit relativ langsamen Abfluss polderseitigen Wassers

Die Belastung durch das Überströmen eines mobilen Hochwasserschutzsystems bietet im Normalfall keinen planmäßigen Schutz [BWK, 2006]. Dies bedeutet, dass eine sofortige Evakuierung der betroffenen Gebiete einzuleiten ist, falls ein Überströmen der Hochwasserschutzwand droht. Eine Bemessung von Hochwasserschutzsystemen für eine Belastung infolge Überströmens kann allenfalls mit Ergebnissen aus Modellversuchen vorgenommen werden. In diesem Fall ist zu beachten, dass die Versuchsergebnisse lediglich für das untersuchte System verwendet werden – eine Übertragbarkeit auf abweichende Systemkonfigurationen ist im Regelfall nicht gegeben.

Durch die im BWK-Merkblatt vorgenommenen Lastannahmen, die auch Grundlage einer Genehmigung oder nachträglichen Anordnung sein sollte, selektieren die am Markt insgesamt angebotenen Systeme, so dass nur noch eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Systemen bleibt, die die Lastannahmen sicher erfüllen können und somit den Stand der Technik repräsentieren. Diese Systeme sind in diesem Bericht dargestellt worden. Eine Normung z.B. verschiedener Dammbalkensysteme ist hilfreich, wenn hierdurch eine Kompatibilität verschiedener Materialen und somit auch ein Austausch für den jeweiligen Einsatzort erreicht werden könnte. Beschädigungen einzelner Systemelemente könnten auf diese Weise schnell korrigiert werden.

Weil im Merkblatt 6 des BWK für die genannten Einwirkungen Lastannahmen und Berechnungsformeln im Einzelnen angegeben sind, wird an dieser Stelle auf eine weitergehende Darstellung verzichtet und auf die Literatur verwiesen [Kraus, O, 2005]. Neben den genannten Sicherheitsnachweisen sind auch geotechnische Nachweise zu erbringen. **Abbildung 7.2.1.2.7** zeigt schematisch die Probleme der geotechnischen Standsicherheit.

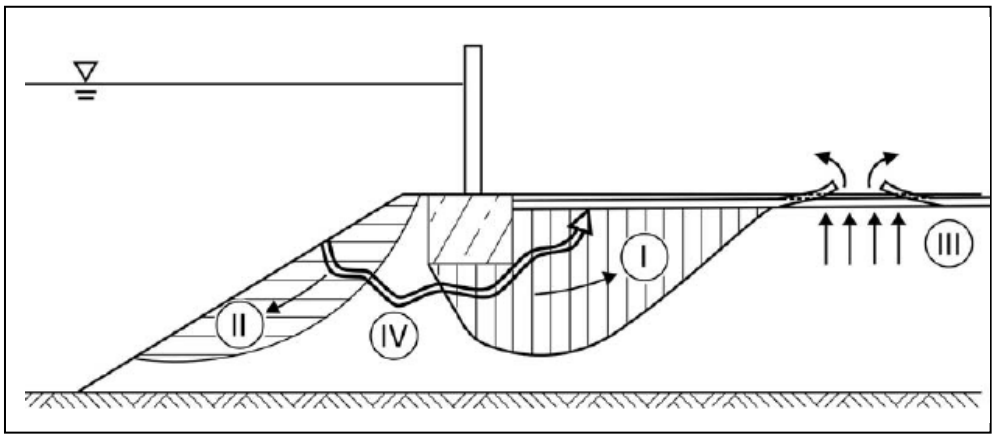



**Abbildung 7.2.1.2.7**: Probleme der geotechnischen Standsicherheit

Ⓘ Die Belastungen an der Schutzwand sind sicher in den Untergrund zu leiten. Die betreffenden erdstatischen Nachweise bestehen damit aus

- Grundbruchnachweis
- Nachweis bzgl. Kippen und
- Nachweis der Standsicherheit gegen Abschieben (Gleiten)

Grundlage ist die DIN 1054.

Ⓘⓘ Für die Standsicherheit von eventuell vorhandenen Böschungen in der Nähe der mobilen Schutzelemente sind Nachweise zur Böschungssicherheit zu führen. Grundlage ist die DIN 1054, Abschnitt 12 in Verbindung mit DIN 1084-100.

Ⓘⓘⓘ Für den Gründungsbereich der mobilen Schutzelemente ist die Auftriebssicherheit bzw. hydraulische Grundbruchsicherheit zu betrachten. Grundlage ist die DIN 1054, Abschnitt 11 bzw. DIN 19712, Abschnitt 9.5.

ⒾⓋ Es ist darüber hinaus der Nachweis der Erosionssicherheit des Untergrundes zu führen. Hinweise hierzu gibt z.B. das Merkblatt „Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen“ der Bundesanstalt für Wasserbau [BAW, 1989]

Schließlich dürfen auch sonstige Bauwerke im Untergrund die geotechnische Standsicherheit der mobilen Schutzwände nicht gefährden. Hierzu zählen z.B. Rohrleitungen, Kanäle und Gebäude.

Das Merkblatt 6 des BWK gibt zahlreiche Hinweise zur Sicherstellung der geotechnischen Standsicherheit, die wegen des Umfanges im Rahmen dieses Forschungsvorhabens im Einzelnen nicht dargestellt werden können.

Systeme ohne permanente Vorkehrungen als zusätzliche Maßnahme

Systeme ohne permanente Vorkehrungen sind z.B. Sandsacksysteme, Behältersysteme, Stellwandsysteme sowie Behelfssysteme, die zum Schutz von Betriebsbereichen und betriebslichen VAwS-Anlagen im Rahmen der planbaren Gefahrenabwehr sowie als Notfallmaßnahme eingesetzt werden können. Beim notfallmäßigen Einsatz sind keinerlei Randbedingungen zum Einsatzort und der zu beherrschenden Gefahren bekannt. Beim geplanten Einsatz ist der Einsatzort im Voraus bekannt und es werden im Sinne einer Notfallplanung verschiedene Abklärungen zur Systemwahl und dessen Einsatz durchgeführt. Die verbleibenden Unsicherheiten sind beim geplanten Einsatz daher wesentlich geringer als beim notfallmäßigen Einsatz. Die empfohlene max. Schutzhöhe soll beim geplanten Einsatz auf 1,2 m und beim notfallmäßigen Einsatz auf 0,6 m begrenzt bleiben [BWK, 2005; VKF/BWG, 2004].

Sandsäcke

Die einfachste und seit langem praktizierte Art eines mobilen Hochwasserschutzsystems ist der Einsatz von Sandsäcken. Allein beim Jahrhunderthochwasser 2002 wurden nach Angaben des Technischen Hilfswerks (THW) entlang der Elbe rund 33 Millionen Sandsäcke verbaut, um bestehende Deiche oder Gebäude vor eindringendem Wasser zu sichern.

Kennzeichnend für den Einsatz von Sandsäcken ist ein erforderlicher hoher personeller Aufwand mit entsprechender Zeitverzögerung sowie eine Stauhöhe von max. 1,5 m. Ebenso ist der Sand zu bevorraten und gegebenenfalls nach dem Einsatz zu entsorgen. **Abbildung 7.2.1.2.8** verdeutlicht den Sandsackbedarf in Abhängigkeit von der Schutzhöhe. Es wird deutlich, dass der Einsatz von Sandsäcken neben dem Personaleinsatz vor allem auch ein logistisches Problem darstellt. Daher wurden in den letzten Jahren Alternativsysteme entwickelt.

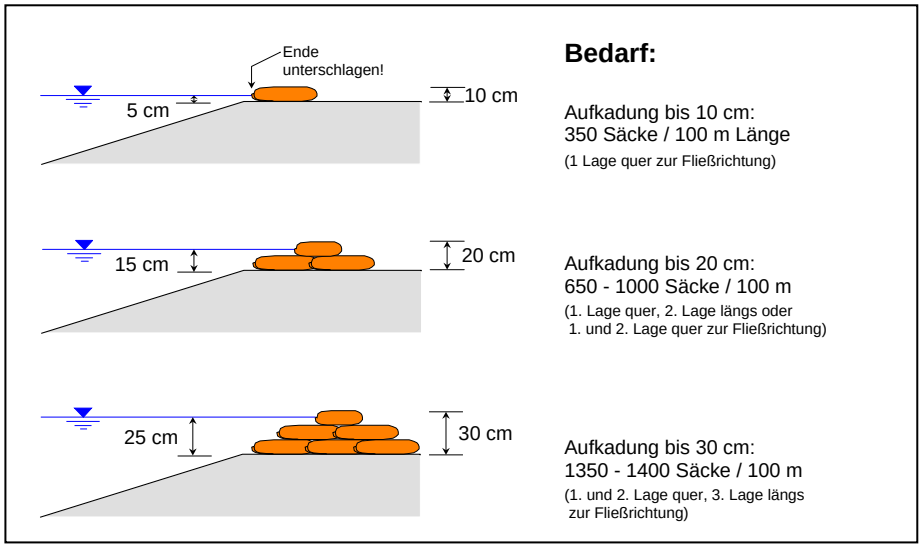



**Abbildung 7.2.1.2.8**: Sandsackbedarf in Abhängigkeit von der Schutzhöhe

offene Behältersysteme

Behältersysteme bestehen aus einer Stahlrahmenkonstruktion mit einem reißfesten Geotextil. Die offenen Behältersysteme werden derzeit in einer Höhe von 1 bis 3 m angeboten. Sie werden mit Kies, Sand oder Erde gefüllt. Mit Wasser gefüllte offene Behälter haben sich nicht bewährt und werden daher nicht mehr angeboten. Ein Beispiel zeigt **Abbildung 7.2.1.2.9**.

**Abbildung 7.2.1.2.9**: Beispiel für ein offenes Behältersystem

geschlossene Behältersysteme

Geschlossene Behältersysteme werden in Schlauch- (**Abbildung 7.2.1.2.10**), in Kissenform (**Abbildung 7.2.1.2.11**) oder in Trapezform (**Abbildung 7.2.1.2.12**) angeboten. Die Füllung der Systeme erfolgt ausschließlich mit Wasser. Als Material wird beschichtetes Polyester eingesetzt. Die geschlossenen Behältersysteme werden zusammengefaltet, als Taschen bzw. -gerollt angeliefert und am Einsatzort ausgelegt bzw. ausgerollt.

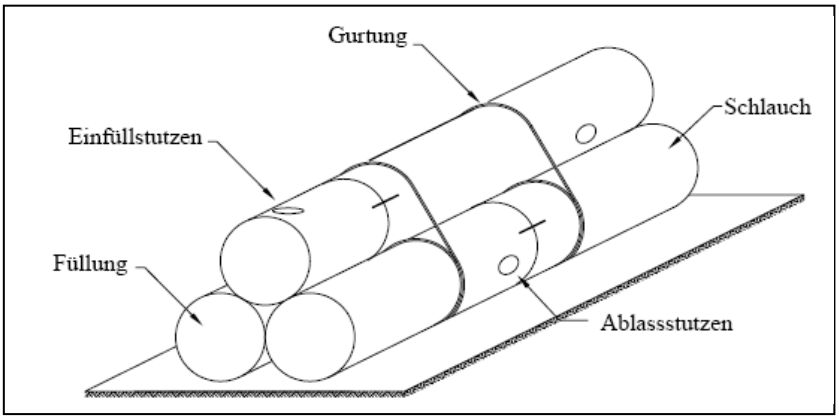



**Abbildung 7.2.1.2.10**: Schlauchsystem

Bei Schlauchsystemen müssen bei Schutzhöhen über 0,50 m zwei Schläuche parallel nebeneinander verlegt werden, da nur bei einem Schlauch in Folge des Wasserdruckes der Fluten der Schlauch wegrollen würde. Je nach Durchmesser der Schläuche sind die beiden Schläuche fest miteinander über eine Lasche verbunden oder müssen mit Gurten zu einem Doppelelement verbunden werden. Mit Schläuchen lassen sich Systemhöhen zwischen 0,22 m (hier reicht ein Schlauch, der mit Bodennägeln im Untergrund befestigt wird) und 1,20 m erzielen. Zusätzliche Systemhöhe wird gewonnen, indem ein dritter Schlauch auf den beiden bereits mit Wasser gefüllten Schläuchen aufgesetzt und mit zusätzlichen Gurten fixiert wird.

Beim Kissensystem, dem sogenannten Bagsystem (**Abbildung 7.2.1.2.11**) handelt es sich um Einzelelemente aus PVC beschichtetem Gewebe in Abmessungen von jeweils 2m x 1m x 0,5m, welche problemlos zu Hochwasserschutz-wänden zusammengefügt werden können. Die Elemente sind gegenüber einem auch nicht vorbereiteten Untergrund, selbst bei Neigungen von 15° rutschfest und dicht. Verankerungen sind nicht erforderlich, werden allerdings bei Höhen ab 1 m vorgenommen. Die Elemente werden leer ausgelegt, mit Karabinerhaken, die an im Bag festeingearbeiteten massiven Bändern angebracht sind, verbunden und anschließend mit Wasser über mobile Pumpen befüllt. Eine Schutzhöhe von mindestens 1,5 m wird erreicht. Das System ist variabel verbaubar, d.h. auch im Winkel von 90°, und gewährleistet auch eine Dichtigkeit z.B. an angrenzenden Gebäudewänden. Bei

einer evtl. Überströmung besteht keinerlei Gefahr eines Verrutschens. Da ein Bag im Leerzustand nur ca. 12 kg wiegt, ist die Logistik und der Aufbau relativ problemlos.

**Abbildung 7.2.1.2.11**: Beispiel eines modularen Hochwasserschutzsystems

In **Abbildung 7.2.1.2.12** System in Trapezform abgebildet.

**Abbildung 7.2.1.2.12**: Trapezsystem

Stellwandsysteme

Stellwandsysteme werden von verschiedenen Herstellern angeboten und unterscheiden sich nicht grundsätzlich voneinander. Die Stützenelemente aus Metall oder Kunststoff werden in einem Abstand von etwa 1,2 bis 1,5 m aufgestellt und mit Erdnägeln oder Ankerbolzen gegen Schub gesichert. Eine Aufstel-

lung auf festem Untergrund (Asphalt, Pflaster) ist wegen der Standsicherheit zu empfehlen. Über Querstreben oder Querstützen werden die Stützenkonstruktionen zu einem Tragwerk verbunden. Der prinzipielle Aufbau der Stellwandsysteme ist in **Abbildung 7.2.1.2.13** dargestellt. Bei Wandelementen aus Metall sind je nach Anbieter Stauhöhen von 1,5 bis zu 3,0 m möglich.

**Abbildung 7.2.1.2.13**: Beispiel eines Stellwandsystems

Die **Tabelle 7.2.1.2.3** zeigt die maximal mögliche Schutzhöhe laut Herstellerangabe der angebotenen Systeme, den Personalbedarf für den Aufbau einer Schutzwand von 100 m Länge und 0,50 m Höhe sowie einen Anhalt für die zu erwartenden Kosten für den Systemkauf [BWK, 2005].

**Tabelle 7.2.1.2.3**: Stauhöhen, Personalbedarf und Anschaffungskosten von mobilen Systemen ohne permanente Vorkehrungen

| Systemtyp | max. Stauhöhe | Personenbedarf je 100 Länge m/h* | Anschaffungskosten €/lfd. m* |
|---|---|---|---|
| Sandsacksysteme | 1,50 m | 35 | 15,-- + Sandkosten |
| Bagsystem | 1,50 m | 4 | 100 |
| offene Behältersysteme | 1,50 m | 8 | 300,-- – 400,-- + Kosten für Füllmaterial |
| geschlossene Behältersysteme | 1,60 m | 6 | 200,-- - 450,-- |
| Stellwandsysteme (Metallstützkonstruktion) | 1,50 m | 8 | 450,-- - 550,-- |

* bezogen auf eine Systemhöhe von 0,5 m

Bezogen auf eine Systemhöhe von 1,0 m verdoppelt sich in der Regel die Anzahl des Personenbedarfs bzw. die aufzuwendende Zeit für die Einrichtung eines 100 m langen Systems.

Dies gilt nicht für Sandsacksysteme, bei denen aufgrund des pyramidenförmigen Querschnitt-Aufbaus der Personenbedarf und die aufzuwendende Zeit sich vervielfältigen. Bei einer Systemhöhe von 1 m und 100 m Länge sind gem. der „Anleitung für den operativen Hochwasserschutz“ des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen Anhalt vom 22.11.2005 je nach Entfernung zum zur Entladung anstehenden LKW von 10 m bzw. 20 m dann 50 bzw. 150 Personen über 8 Stunden für den Aufbau eines Sandsackdeiches erforderlich. Hinzu kommen für das Füllen, Beladen und den Transport nochmals 60 Einsatzkräfte über einen Zeitraum von ca. 8 Stunden sowie eine aufwändige Entsorgung.

Bei der Anschaffung von Systemen ist daher nicht nur der Anschaffungspreis zu berücksichtigen, sondern auch die Kosten für Lagerung, Unterhaltung, Reinigung und Instandsetzung sowie für den Transport und das Personal. Diese fallen individuell nach den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten an.

Auch für derartige Systeme sind Standsicherheitsnachweise erforderlich, wobei an dieser Stelle wiederum auf das Merkblatt 6 der BWK verwiesen wird.

#### 7.2.1.3 Beispiele von auf dem Markt verfügbaren Produkten zum technischen mobilen Hochwasserschutz und zu Nachrüstungsmöglichkeiten

Im Folgenden sind Produkte von Herstellern auf dem deutschen und näheren innereuropäischem Markt aufgeführt (**Tabelle 7.2.1.3.1**). Die hier dargestellte Produktpalette enthält Konstruktionen zum mobilen Hochwasserschutz, Entwässerungen und Absperrsystemen mit Kurzspezifikationen sowie Messeinrichtungen und soweit möglich Richtpreisangaben.

**Tabelle 7.2.1.3.1:** Hersteller / Lieferfirmen wasserbautechnischer Einrichtungen

| lfd. Nr. | Firma | Adresse | Produkt | Spezifikation | Preise EUR | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ALTRAD<br>plettac assco GmbH & Co. KG | Plettac Platz<br>58840 Plettenberg | mobile Hochwasserschutzwand: Stellwand bestehend aus Stahlböcken mit eingeschobenen Hartschaumstoffplatten, die mit Dichtplane abgedeckt werden(Sicherung der Dichtplane mit Sandsäcken) | Plettac acqua defence | 253,- / lfd. m | Sandsäcke zur Sicherung der Dichtplane erforderlich. |
| 2 | ARBED Spundwand GmbH<br>Niederlassung Süd | Industriestraße 20<br>76470 Ötigheim | Spundbohlen aus Stahl, Stahlspundwände: Kaltgeformte Profile für Deichsicherungen, warmgeformte Profile für Hochwasserschutzwände (6-18 m Profillänge). | AU-/PU-Bohlen<br>HZ/AZ-Spundwandsystem (mit Schloßabdichtung) | 80,-/m² Deichsicherg.<br>95,-/m² Hochws-schutzwd./jew.6 m Profil | Herstellung von Schutzwänden mit großen Stauhöhen. |
| | ARCELOR LONG COMMERCIAL<br>Arcelor Group | 66, rue de Luxembourg<br>L-4009 Esch/ Alzette<br>Luxembourgh | > Nr. 2 | > Nr. 2 | > Nr. 2 | > Nr. 2 |
| 3 | Aqua Stop Hochwasserschutz GmbH | Hofgründchen 55<br>56564 Neuwied | Mobile Wandsysteme mit Dammbalken, Glassysteme | | | |
| 4 | Bauer Spezialtiefbau GmbH | Wittelsbacherstr. 5,<br>86529 Schrobenhausen | Dammbau, Spundwände, Dammsanierung durch Betondichtwandeinbringung | | | |
| 5 | BERGER Friedrich Ges.m.b.H. & Co. KG | Stadtplatz 50<br>A-4690 Schwanenstadt | Sandsackfüllmaschine: Autom. Sandsackbefüllung über hydraul. angetriebene Rührwelle, Steuerung über Fußpedal Auffüllen der Füllmaschine ist zeitgleich mit der Sandsackbefüllung möglich. | Gigant Sandfüller | --- | Automat. Sandsackbefüllung (1600 Sack/h). |
| 6 | Eijkelkamp Agrisearch Equipment | Nijverheidsstraat 30<br>P.O. Box 4<br>NL-6987 ZG Giesbeek<br>Niederlande | autom.Grundwasser- und Oberflächenwasserstandmessung (Druck- u. Temperatursensor)<br><br>autom. Regenmesser (Niederschlagsmengen-Messung)<br>Bodenfeuchtesensor zur Deichüberwa- | CTD-Diver<br>e+Water L -Sensor<br><br>e+Rain Logger und Regenmesser<br><br>e+Soil MCT Datenlogger | ---<br><br>---<br><br>--- | Hochwasser-Vorhersage und Pegelüber-wachung<br><br>Deichüber-wa- |

| lfd. Nr. | Firma | Adresse | Produkt | Spezifikation | Preise EUR | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | chung | | | chung. |
| 7 | Eko System Kosbiel GmbH | Am Schloß 2-4<br>66987 Thaleischweiler-Fröschen | mobile Dammbalken: Dammbalken und Dammplatten aus Al-Strangpressprofilen(bis 6m Länge), die in einbetonierten oder nachträgl. angeschraubten Wandanschlüssen und Bodenschienen eingesetzt werden. | EKO-System Hochwasserschutz | ca. 800,-/ lfd.m | Herstellung von Schutzwänden. |
| 8 | Floecksmühle Energietechnik GmbH | Bachstraße 62-64<br>52066 Aachen | Schlauchwehranlage: Eine Gummigewebe-Platte wird mit dem Betonwehrkörper so verschraubt, dass ein dichter Innenraum entsteht (Schlauch), der mit Wasser(oder Luft) befüllt wird. | Schlauchwehre zum Hochwasserschutz | --- | Entsprechendes Betonfundament oder Betonwehr u. Reguliersystem zur Wasser-(oder Luft)-Zuführung in den Schlauch erforderlich, Stauhöhe bis 8 m und Staubreite bis 200m. |
| 9 | Floodbag Europa GmbH mobiler Hochwasserschutz | Mittlere Feldstraße / Münchener Straße<br>83395 Freilassing | Mobiles, modulares Hochwasserschutzwandsystem, einzelne Elemente fest verbunden mit einlaminierten Bändern und Karabinerhaken, rutschfest auf Untergrund, Höhe 1,5 m | Floodbag, Elemente 2m x 1m x 0,5m aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe | 250,-- pro Element bzw. lfd. m bei 1m Höhe | Mobile Pumpen zur Befüllung, pro Bag 3 min. |
| 10 | Flowserve Pump Division<br>Pleuger Worthington GmbH | Friedrich-Ebert-Damm 105<br>22047 Hamburg | Unterwassermotor-Pumpen, HW-Pumpstationen: Kreiselpumpen mit Unterwassermotoren für Schöpfwerke(Abpumpen eingedeichter Gebiete gegen den Seewasser-Spiegel). | PLEUGER Polderpumpen<br>Flowserve Polderpumpen | --- | Entwässerung überfluteter Gebiete/Polder bis 100.000 m³/h. |
| 11 | HST HYDRO- | Brunnenweg 7 | HW-Schutzwehre: | ASK-, ESK, GSK und | --- | Hochwasser- |

| lfd. Nr. | Firma | Adresse | Produkt | Spezifikation | Preise EUR | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | SYSTEMTECHNIK GMBH | 73577 Utzstetten-Ostalbkreis | Automat. Klappenwehre, Rückstauklappen und Stauschilde für Speicher-Bauwerke.<br><br>Software/PLT-Systeme | RSK-Wehre und -Klappen<br><br>MeNIS-Software, HydroDat/PLS | ---<br><br>--- | Rückhaltung durch zusätzliches Rückstau- bzw. Speichervolumen.<br><br>Hochwasser-Pegelüber-wachung |
| 12 | HUESKER Synthetik GmbH | Fabrikstraße 13-15<br>48712 Gescher | Dichtungsbahnen: Betonmatten(hochfeste mit undurchlässigem Beton gefüllte Kunststoffgewebe), die zur Abdichtung in Dämme eingebaut werden. | Incomat/Geosynthetics zur Deichabdichtung | --- | Abdichtung von Dämmen und Deichen. |
| 13 | Husemann & Hücking Profile GmbH | Am Hofe 9<br>58640 Iserloh | mobile Dammbalken für Gebäudeöffnungen(Tore u. Fenster etc.): Stahl-Lamellen mit Dichtungen, die in Zahnschienen(in d. Gebäudeöffnungen) eingebaut werden. | WP WASTO Hochwasserschutzsystem | 200,-/ m² | Stauhöhe u. Staubreite i.d.R. mit 2 m begrenzt. |
| 14 | IBS GmbH | Gemeindewald 4<br>86672 Thierhaupten | mobile Dammbalken: Al-Dammbalkenprofile mit Dichtungen(für Stauhöhen bis 5m u. Spannweiten bis 7 m), die in Al-Strangpreßprofile eingebaut werden sowie Al-Dammtafeln für große Stauhöhen. Flutschutztore u. Deichtore: Hub-/Klapptore u. Drehtore(mit hydraul. Antrieben) | Dammbalken K-System, Dammtafeln<br><br>Flutschutztore, Deichtore | ca. 1000,-/ lfd. m<br><br>Entspr. Ausführg.u.Ab-messung | Stauhöhe und Staubreite entsprechend den Abmessungen der Balken und Tafeln. Hochwasserschz (Einbau in Schutzwänden). |
| 15 | Keller Grundbau GmbH | Kaiserleistraße 44<br>63067 Offenbach | Damm- und DeichAbdichtung: Herstellung von Schmalwänden mit dem „Keller“-Tiefenrüttler, beim Ziehen des Rüttlers wird Dichtungsmaterial in den Baugrund eingebracht(ein abdichtendes wandförmiges Element hergestellt). | Herstellung von Dicht-Wänden/Rüttelwänden zur Deichsanierung | --- | Abdichtung von Dämmen. |
| 16 | König Innovationstechnik | Abtsdorf 19<br>83416 Saaldorf-Surheim | Sandsackfüllmaschine: Sandsackbefüllanlage mit Elektro-Antrieb. | König Power-Sandking | 6500,- bis 10000,-/ Stk. | Befüllung von 4200 bis 4600 Sack/h. |

| lfd. Nr. | Firma | Adresse | Produkt | Spezifikation | Preise EUR | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Hand-Sandsackzunähmaschinen | | 1900,-/ Stk. | |
| 17 | Köster Friedrich GmbH & Co. KG | Friedrichswerk 1-7<br>25746 Heide | Hochwasserpumpen:<br>Pumpen für Schöpfwerke(Abpumpen eingedeichter Gebiete)<br><br>Rückstauklappen: Schutz tiefliegender Gebiete bei Hochwasser.<br><br>Notverschlüsse: Dammbalken aus Al, Dammtafeln aus Stahl.<br><br>Schützanlagen: Die in Deichen/Dämmen eingebauten Schütze werden bei Hochwasser zur Entlastung geöffnet.<br><br>Flutschutztore: Dreh- u. Schiebetore (Torfahrt mit Winde oder speziellen elektr. u. hydraulischen Antrieben). | VKP Halbaxialpumpen<br><br>Rückstauklappe (Kreisform, Quadrat- u. Rechteckform)<br><br>Dammbalken-/-tafel -Verschlüsse<br><br>Schützanlagen<br><br>HWS-Tore(Dreh- und Schiebetore) | ---<br><br>---<br><br>800,- bis 900,-/ lfd. m<br><br>---<br><br>32.000,- (Drehtor- 5 m, ohne Antrieb) | Entwässerung überfluteter Gebiete/Polder bis 16200 m³/h.<br><br>Hochwasserschutz für Kanäle bis DN2000 und 2,5 m Breite.<br><br>Stauhöhe und Staubreite bis 7 m.<br><br>Deichschutz<br><br>Hochwasserschutz Torbreite von 3 bis 14 m. |
| 18 | Krupp Stahlbau Hannover GmbH | Hackethalstraße 4<br>30179 Hannover | mobiler und stationärer Hochwasserschutz: Tore, Segmentschütze u. Notverschlüsse | Stahlwasserbau | | |
| 19 | Max Aicher Bischofswerda GmbH & Co. KG | Drebnitzer Weg 4<br>01877 Bischofswerda | mobiles, modulares Hochwasserschutzsystem, Stauwände aus gewölbten Metallplatten mit Stützen | Stauwand | | mit Fundament-Plattenanker |
| 20 | MCB Anlagensysteme GmbH | Am Schornacker 11c<br>46485 Wesel | mobile Dammbalken: Rolltor/Rollschott für Türen u. Fenster (bestehend aus Edelstahl-Rollleisten), wird bei Hochwasser manuell oder automat. ausgefahren. | Multischott, acquarollschott | --- | i.d.R. für Fenster und Tore. |
| 21 | Mobildeich GmbH | Alte Landstraße 224<br>22391 Hamburg | mobile Schlauch-Barrieren: Mit Wasser befüllte Doppel- und Dreifach-Schläuche (Module mit 10 m und 50 m Länge). | Mobildeich (70-260 cm Stauhöhe) | 2500,- bis 32900,-/ Modul (ca. 250,- bis 660,-/ lfd. m) | Pumpaggregat zur Befüllung erforderlich Gewichtsbarriere. Auslegung |

| lfd. Nr. | Firma | Adresse | Produkt | Spezifikation | Preise EUR | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | von Basisfolien |
| 22 | NAUE GmbH & Co. KG | Gewerbestr. 2<br>32339 Eskelkamp-Fiestel | Dichtungsbahnen: Kunststoffdichtungsbahn aus PEHD und faserarmierte Tondichtungsbahn(mit Bentonit gefülltes PP-Gewebe)<br><br>Geotextile Container: Sandcontainer aus PP-Vliesstoff. | Carbofol(Kunststoffdichtungsbahn), Bentofix(geosynthet. Ton-Dichtungsbahn)<br><br>Terrafix-Softrock Sandcontainer | ---<br><br>--- | Abdichtung von Dämmen und Deichen.<br><br>Deichsicherung (Flussseite) durch vor-gelegte Sandcontainer. |
| 23 | NOAH GmbH<br>Water Secure Systems | Weisenstr. 1<br>09355 Stollberg | mobile Hochwasser-Schutzwannen: Mit Wasser befüllte Wannen aus PEHD/LD-Material, die untereinander kraftschlüssig verbunden aufgestellt werden.<br><br>mobile Hochwasser-Schutzwände: Platten aus PEHD mit Klappstützen werden in Elemente aus PEHD, die im Boden fest verlegt sind, eingebaut. | HSW(Hochwasserschutzwanne)<br><br>HSP(Hochwasserschutzplatte), DEP(Deicherhöhungsplatte) | ca. 600,-/ lfd. m (H = 1m)<br><br>ca. 500,-/ lfd. m (H = 1m) | Pumpaggregat zur Befüllung erforderlich, Gewichtsbarriere, Stauhöhe ist begrenzt (ca. 2 m).<br><br>Stauhöhe ist begrenzt. |
| 24 | SEBA Hydrometrie GmbH | Gewerbestr. 61a<br>87600 Kaufbeuren | Oberflächenwassermeßsysteme: Pegelmessungen, Abflussmesungen. | Oberflächenwassermeßtechnik | --- | Hochwasserpegel-Überwachung, Hochwasser-Vorhersage |
| 25 | Stahlwasserbau Beeskow GmbH | Charlottenhof 13<br>15848 Beeskow | Mobiler und stationärer Hochwasserschutz: Stau-Tafeln, Schützen/Dammtafeln, Schleusen | Stahlwasserbau | | |
| 26 | Stahl- und Apparatebau Hans Leffer GmbH | Pfählerstraße 1<br>66125 Saarbrücken | Mobiler und stationärer Hochwasserschutz: Drehsegmenttore, Stemmtore u. Schotte | Stahlwasserbau | | |
| 27 | Tauber Rohrbau GmbH & Co. KG | Virnkamp 26<br>48157 Münster | Hydraulisches Spundbohlen-Einpressgerät: Erschütterungsfreies Einpressen von | Silent Piler und Z-Piler, hydraul. Systeme zum Ein- | --- | Herstellung von Schutzwänden |

| lfd. Nr. | Firma | Adresse | Produkt | Spezifikation | Preise EUR | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Spundbohlen(-wänden). | pressen von Spundbohlen und Z-Profilen | | aus Spundbohlen mit entspr. Profilen. |
| 28 | THOMAS System Technik | Dorfstraße 35<br>37318 Asbach | Barriere(Löschwasser-Rückhaltung/Hochwasserschutz): Automatisch und manuell verfahrbare Barrieren sowie mobile (steckbare) Barrieren aus Al-Profilen für Tore und Türen<br>(Länge: 1 bis 6 m, Höhe: 0,1 bis 1 m). | automatische Barrieren<br><br>manuelle Barrieren<br><br>mobile Barrieren | 6000,- bis 10000,-/ Stk. 1800,- bis 7800,- / Stk.<br>900,- bis 4400,-/ Stk. | Hochwasserschutz für Lagerräume. |
| 29 | ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH | Altendorfer Str. 120<br>45143 Essen | Stahlspundwände<br><br>Mobile Al-Dammbalken: Al-Balken(mit EPDM-Dichtungen) und Stützen aus Al.<br><br>mobile Hochwasser-Schutzwand: Elemente aus Al werden mit einer Kopfplattenbefestigung auf Basis-Spundwände aufgesetzt.<br><br>Hochwasserschutzwand aus Glas: bruchsichere Glaswände werden von Stützen aus Al gehalten. | Stahlspundwandprofile<br><br>TKR Aluminium-Dammbalken-System<br><br>Al-Konstruktion<br><br>Glas-System | ---<br><br>---<br><br>---<br><br>--- | Herstellung von Schutzwänden mit großen Stauhöhen.<br><br>Herstellung von Schutzwänden.<br><br>Herstellung von Schutzwänden.<br><br>Herstellung von Schutzwänden (ohne optische Störungen). |
| 30 | TRANSMIT GmbH | Kerkrader Straße 3<br>35394 Gießen | Mobiler Hochwasserschutz: Stellwand aus verzinktem Stahlblech wird mit Dichtplane abgedeckt | Biber-Barriere | | |

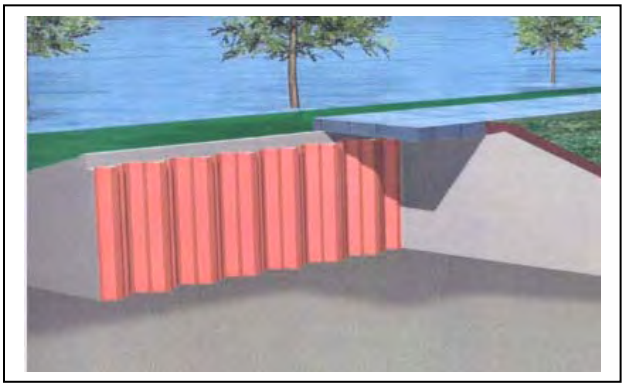


**Abbildung zur lfd. Nr. 1**

**Abbildung zur lfd. Nr. 5**

**Abbildung zur lfd. Nr. 9**

**Abbildung zur lfd. Nr. 14**

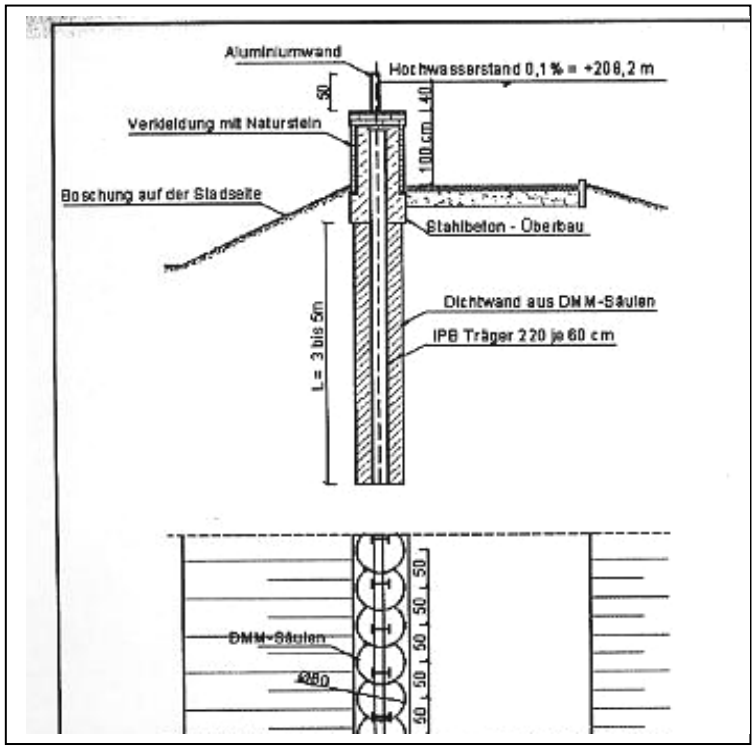



**Abbildung zur lfd. Nr. 15**

**Abbildung zur lfd. Nr. 23**

## 7.2.2 Stand der Technik zur nassen Vorsorge

Die nasse Vorsorge unterscheidet sich von der trockenen dadurch, dass in diesem Fall davon ausgegangen wird, dass eine Überschwemmung des Geländes eintreten kann, wie dies z.B. bei der Fluorchemie in Dohna geschah. In diesem Fall müssen die Anlagen im Inneren des Betriebsgeländes gesichert sein. Dabei können die Maßnahmen zur Sicherung von VAwS-Anlagen und Flüssiggasbehältern anders aussehen, als diejenigen für Betriebsbereiche.

VAwS-Anlagen

Maßgebend für den Vollzug sind die Mindestanforderungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik und die Anlagenverordnungen der Länder. Weil es sich um Mindestanforderungen handelt, können die Genehmigungsbehörden im Einzelfall weitere Anforderungen stellen. Die Behörden sind frei, die Empfehlungen der IKSE und IKSR, die in den Kapiteln 3.4.1 und 3.4.2 zusammenfassend dargestellt wurden, für die Begründung weitergehender Anforderungen heranzuziehen. Hinweise auf die Sicherung von VAwS-Anlagen gegen Hochwasser einschließlich der Rohrleitungen finden sich in einzelnen Regelwerken, wie z.B. der TRB 600 Abs. 3.6, der TRbF 20, TRbF 40 und der TRD 452- Anlagen 1 und 2 (vgl. Kapitel 3.8.2 und 3.8.3). Weil die VAwS-Anlagenverordnungen, die Empfehlungen der Flussgebietskommissionen sowie die Regelwerke in Kapitel 3 detailliert dargestellt wurden, werden an dieser Stelle die technischen Möglichkeiten zur Sicherung von VAwS-Anlagen gegen Hochwasser kurz stichwortartig zusammengefasst:

Oberirdische Anlagen in Gebäuden:

- Auftriebssicherheit durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte oder Seitenwänden durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte (**Abbildung 7.2.2.1**) oder durch Abstützung mit Stahlstreben an der Decke
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Anordnung der Entlüftungsrohre oberhalb der Wasserlinie
- Abdichtung von überflutungsgefährdeten Befüllanschlüssen; Entfernung der Dichtung nur beim Befüllvorgang
- Befestigung der Rohrleitungen auf der gesamten Länge

- Wasserdichte Ausführung von Öffnungen, die unterhalb der Wasserlinie liegen
- Verzicht auf Untergeschossnutzung (vermindert den durchschnittlichen Gesamtschaden um 3.000 bis 6.000 € [IKSR, 2002])
- Anordnung von Hauptschaltern und Verteilungseinrichtungen oberhalb der Wasserspiegellinie
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung

**Abbildung 7.2.2.1**: Sicherung eines Tanks vor Auftrieb durch Stahlgurte

Unterirdische Anlagen im Freien:

- Aufbringen einer Erdüberdeckung von ≥ 1 m für Druckbehälter (TRB 600)
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Anordnung der Entlüftungsrohre oberhalb der Wasserlinie
- Abdichtung von überflutungsgefährdeten Befüllanschlüssen; Entfernung der Dichtung nur beim Befüllvorgang

Oberirdische Anlagen im Freien:

- Auftriebssicherheit durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte (1,3-fache Auftriebssicherheit mit leerem Behälter bezogen auf den höchsten zu erwartenden Wasserstand (TRbF 20, TRbF 40, TRD 452 – Anlagen 1 und 2)
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Befestigung der Rohrleitungen auf der gesamten Länge
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung
- Sicherung vor Treibgut und Eisgang durch z.B. Leitbleche
- Sicherung der Rohrleitungen gegen Treibgut

Flüssiggasbehälter

Der Stand der Technik zum Schutz von Flüssiggaslageranlagen wurde in Kapitel 4.4.3 teilweise schon dargelegt. Der Stand der Technik für die Aufstellung von Druckbehältern wird in der TRB 600 Abs. 3.6 beschrieben. Darüber hinaus sind weitere Maßnahmen erforderlich, wenn eine Gefahr durch Strömung oder Treibgut droht. Weil in Kapitel 4 schon auf die Flüssiggasbehälter eingegangen wurde, wird an dieser Stelle der Stand der Technik zum Hochwasserschutz nur kurz stichwortartig zusammengefasst:

- Aufstellung von Großtanks auf Stützen (vgl. Abbildung 4.4.3.1), nach Aufschüttung des Geländes oberhalb der Wasserlinie oder in Wannen zur Abhaltung des Hochwassers
- Auftriebssicherheit (1,3-fache Sicherheit) durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte; das Fundament muss in der Lage sein, die Zugkraft des Auftriebs aufzunehmen.
- bei unterirdisch verlegten Anlagen Erdüberdeckung von mindestens 1 m einschließlich einer 20 cm dicken steinfreien Sandschicht (Lieferkörnung 0/2 nach DIN 4226, Teil 1, Flusssand mit maximal 3 mm Korngröße), Lagerung des Druckbehälters auf einer mindestens 20 cm dicken, verdichteten Sandschicht (TRB 600)

- Sicherung von Tanks vor Treibgut z.B. durch Leitbleche
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung

Betriebsbereiche

Bei Betriebsbereichen wird in der Regel davon ausgegangen, dass Wasser nicht auf das Betriebsgelände eindringen darf. Entsprechend wird an den einzelnen Standorten eine trockene Vorsorge betrieben. Dennoch gibt es Betriebe, die aufgrund ihrer Lage an Gewässern und aufgrund der Gewässercharakteristik keine trockene, sondern eine nasse Vorsorge betreiben müssen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde mit der Fluorchemie, welche aus historischen Gründen in einem Überschwemmungsgebiet liegt, ein solcher Fall näher untersucht. Dennoch stellt die nasse Vorsorge eher den Ausnahmefall dar. Die nasse Vorsorge wird vermutlich an Bedeutung gewinnen, wenn überschwemmungsgefährdete Gebiete ausgewiesen werden und hieraus neue Anforderungen an die Produktionsbetriebe abgeleitet werden. Vor diesem Hintergrund sind die folgenden Aspekte der nassen Vorsorge für Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, näher zu betrachten:

Auftriebssicherheit

Die Auftriebsicherheit von Behältern kann durch eine Verankerung/Verschraubung der Sättel oder Fuß- bzw. Zargenringe eines Behälters oder Tanks im/am Fundament bzw. der Fundamentbewehrung oder einer Bodenplatte erreicht werden. Die Sättel müssen hierbei mit dem Behälter eine ausreichende Verbindung haben. Eine weitere Möglichkeit ist das Aufbringen von Gewichten sowie die Sicherung durch Stahlbänder, die im Fundament oder einer Bodenplatte verankert werden. Das Fundament muss in der Lage sein, die Zugkraft des Auftriebs aufzunehmen. Ziel dieser Maßnahmen ist es, entsprechend den Vorgaben der IKSE die 1,3-fache Auftriebssicherheit zu erreichen. Eine Vorhaltung von mobilen Einrichtungen, z.B. zur Anbringung von Gewichten oder einer Seilverankerung, ist insbesondere bei kurzen Vorwarnzeiten nicht sinnvoll.

Schutz vor Treibgut

Es lassen sich folgende Konzepte je nach Anlagenaufstellung und -konfiguration in Erwägung ziehen:

- Abwehrschutz in Form von Leitplanken aus Stahl
- Abwehrschutz als Betonmauern mit Durchlässen (z.B. Schlitzen) zur Wasserableitung
- pfeilmäßige Brecherkonstruktionen mit Steigung zum Objekt hin, um Treibgut abzuwehren.

sichere Umschließung der Stoffe

Wesentlich ist der sichere Einschluss von gefährlichen Medien. Dies gilt zum einen für die Konstruktion eines Behälters oder Tanks selbst und zum anderen für das System, mit denen diese Behältnisse in einer Anlage eingebunden sind. Hierzu zählen vornehmlich Verbindungseinrichtungen, wie Rohrleitungen, Hook Ups (Installation von MSR-Einrichtungen mit Messstellen, Transmittern, Leitungen etc. vor Ort) der MSR oder Anschlüsse von Sicherheitsarmaturen (PSVs).

Sofern es sich hierbei um geschlossene Behälter und Tanks handelt, wie z.B. Druckbehälter und -systeme, ist von einem sicheren Einschluss der Stoffe auch im Falle von Hochwasser auszugehen (siehe auch Kap. 3.8), wenn diese dem möglichen äußeren Wasserdruck standhalten. Bei offenen Behältern muss in jedem Einzelfall geprüft werden, ob Verschlusssysteme (z.B. anschraubbare Deckel) angebracht werden können. Hierbei ist auch die Entlüftungsleitung zu beachten, die entsprechend hoch geführt werden muss.

keine Untergeschossnutzung

Im Rahmen der nassen Vorsorge sollten Untergeschosse in Gebäuden zur Lagerung von Chemikaliengebinden oder zum Aufstellen von Anlagen mit gefährlichen oder wassergefährdenden Stoffen nicht genutzt werden. Darüber hinaus sollten im Untergeschoss auch keine wichtigen Energieversorgungs-, Steuer- und Messeinrichtungen untergebracht werden. Gerade diese Einrichtungen waren während des Augusthochwassers 2002 z.B. auf der Kläranlage Bitterfeld/Wolfen hochgradig gefährdet. Die Bayer Bitterfeld GmbH hat beim Bau ihrer Produktionsanlagen vorsorglich ganz auf Keller verzichtet.

Hochlagerung auf Gerüsten

Die Behälter zur Chemikalienbevorratung bei der Fluorchemie Dohna waren alle auf Stahlgerüsten installiert, so dass eine direkte Gefährdung durch Hochwasser nicht bestand (vgl. Abbildung 6.7.2.3.3). Bei derartigen Gerüsten ist jedoch darauf zu achten, dass diese nicht durch Treibgut oder Eisgang gefährdet werden. Auch sind die Fundamente so zu konzipieren, dass eine Kolkbildung die Stützen nicht gefährdet.

Analog den beschriebenen stationären Maßnahmen zur trockenen Vorsorge sind Chemikalienlager und relevante Prozessanlagen grundsätzlich in einem ausreichenden Niveau oberhalb eines maximal zu erwartenden Hochwasserstandes vorzusehen.

Anlagenkonzeption Einblocksystem

Für den Fall, dass bei einer Anlage eine durch Leitungsabriss aufgrund eines Aufschwimmens oder durch Treibgut verursachte Leckage eintritt, sollen die Anlagen oder Komponenten mit ferngesteuerten Schnellschlussarmaturen ausgestattet sein, die ein Einblocken kleinerer Anlageneinheiten ermöglichen, um eine Leckage der größten zusammenhängenden Menge (GZM) verhindern zu können. Ein Beispiel hierfür bietet das Einblocksystem einer Ammoniakanlageneinheit in **Abbildung 7.2.2.2**.

Bei solchen Einblocksystemen kann dann jeweils nur die Menge des eingeblockten Systems (im Beispiel farblich unterschiedlich markiert), in welchem sich das Leck befindet, austreten.

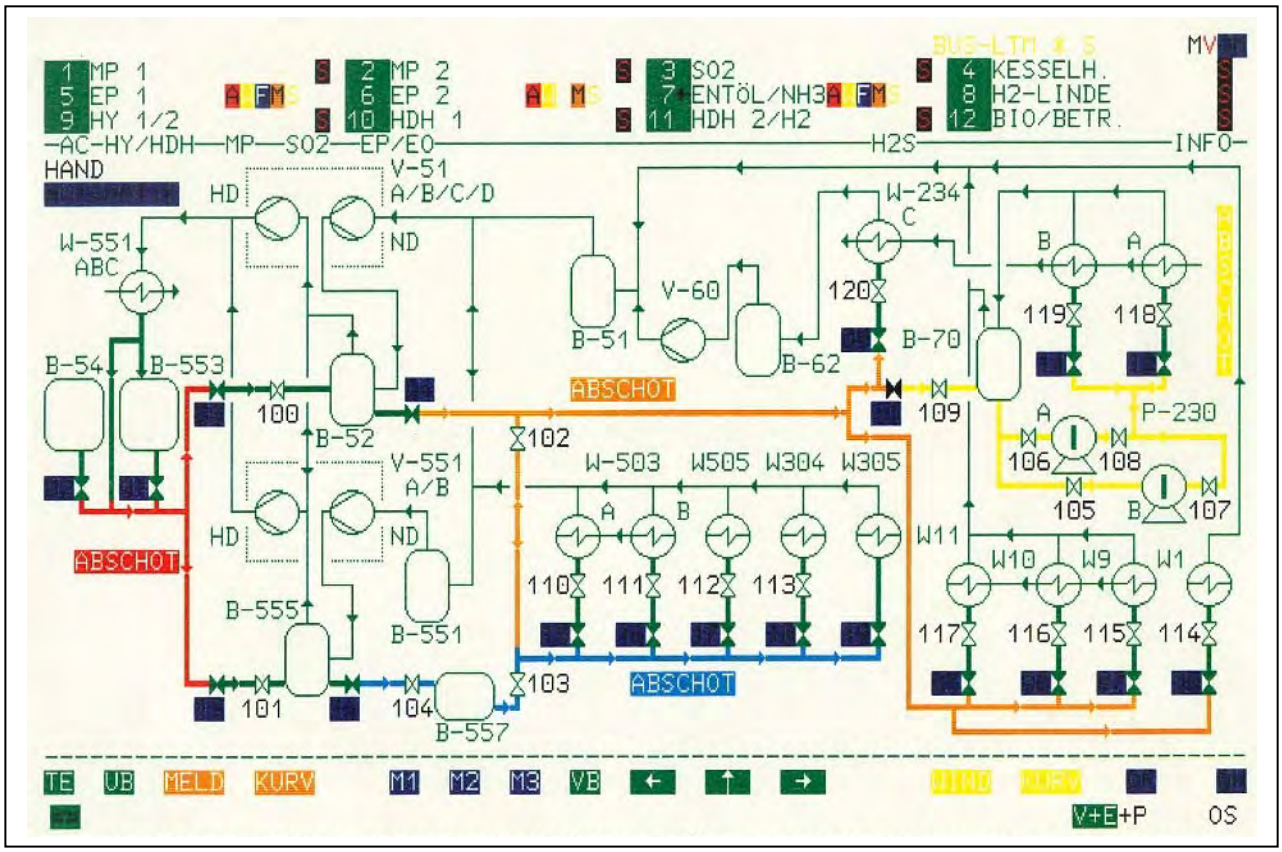



**Abbildung 7.2.2.2**: Einblocksystem einer Ammoniakanlageneinheit

Anlagenabfahren, Anlagenstillstand, Anlagenentleerung, Mess- und Regelungs-(MSR), Prozessleit-technik (PLT)

Anlagen mit gefährlichen Stoffen müssen auch im Falle einer Überflutung sicher und zielgerichtet stillgesetzt, d.h. abgefahren werden können. Dies erfolgt sowohl mit einem sogenannten schnellen Abfahren (NOT-AUS / SHUT DOWN) als auch mit einem langsamen Abfahren über ein MSR-/PLT-System und ein sogenanntes Faile Safe System. Da ein Herunterfahren aus verfahrenstechnischen Gründen häufig nur über einen längeren Zeitraum, z.T. von mehreren Stunden möglich ist, sind

a) besondere Anforderungen an die Qualität von Sicherheits-gerichteten MSR-/PLT-Einrichtungen als auch
b) an deren sichere Stromversorgung zu stellen.

Zur Verhinderung von aus Hochwassersituationen resultieren-den Gefahren sind daher entsprechende MSR-/PLT-Schutzein-richtungen in Betriebsbereichen vorzusehen.

Sicherheitsmaßnahmen mit Mitteln der MSR/PLT gelten hierbei nicht nur dem Abfahren, sondern auch der Anlagensicherheit im Betriebsstillstand mit eingeschlossenen Stoffen als auch dem Entleeren von Behältern und Tanks von gefährdeten in ungefährdete Bereiche, sowie dem Einblocken leckgeschlagener Einheiten oder Komponenten, wie vor gezeigt.

### 7.2.3 Möglichkeiten der Nachrüstung

Nachrüstungen sind dann erforderlich, wenn bestehende Anlagen vor den Gefahren durch Hochwasser zu schützen sind. Hierbei sind grundsätzlich zwei Fragestellungen zu beachten:

1. Welche technischen Möglichkeiten zur Nachrüstung bestehen?
2. Welche rechtlichen Grundlagen bestehen oder sollten in Zukunft eingeführt werden, damit die Vollzugsbehörden eine Nachrüstung verlangen können?

Wie schon zu Beginn des Kapitels 7 grundsätzlich angemerkt, werden in diesem Kapitel ausschließlich die technischen Möglichkeiten zur Nachrüstung von Anlagen erläutert. Die rechtlichen Grundlagen zur Durchsetzung von Maßnahmen zur Sicherung von bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen Hochwasser werden im Gesamtzusammenhang mit anderen Fragestellungen in Kapitel 11 diskutiert.

#### 7.2.3.1 Umstellung der privaten Wärmeversorgung

Um einen Ölaustritt aus privaten Heizöltanks durch Hochwasser vollständig auszuschießen, ist die Umstellung der Wärmeversorgung auf Gasbrenner bzw. Gasthermen, die aufgrund ihres geringen Platzbedarfs auch in Dachräumen untergebracht werden können, die beste Lösung. In den betroffenen Stadtgebieten, in denen in der Regel die erforderlichen Gasversorgungsleitungen bestehen, wird die Umstellung von Öl auf Gas von den meisten Anwohnern durchgeführt. Schwieriger ist dies im ländlichen Raum, wo anstelle von Heizöltanks, Flüssiggaslagertanks zu installieren sind, die dann jedoch ebenso vor Hochwasser zu schützen sind.

### 7.2.3.2 Nachrüstung durch Maßnahmen zur trockenen Vorsorge

Für bestehende Anlagen (Betriebsbereiche, VAwS-Anlagen, Flüssiggasbehälter) sind die Möglichkeiten der Nachrüstung zur Sicherung vor Hochwasser grundsätzlich individuell zu prüfen. Hierbei sind zunächst die Maßnahmen zur trockenen Vorsorge zu prüfen. Der Stand der Technik wurde in den Kapiteln 7.2.1.1 und 7.2.1.2 dargestellt. Unabhängig von der Art der zu schützenden Anlage kann je nach örtlichen Gegebenheiten eine trockene Vorsorge durch stationäre oder mobile Schutzwände erreicht werden. In Kapitel 7.2.1.3 wurden zudem die Anbieter der verschiedenen Systeme aufgelistet. Die insbesondere bei mobilen Systemen zu berücksichtigenden Kriterien der Standsicherheit sowie der geotechnischen Bedingungen wurden ebenfalls in den genannten Kapiteln erläutert. Im Einzelnen ist bei der trockenen Vorsorge zu beachten, dass alle Öffnungen zu der jeweils betrachteten Anlage unterhalb der Wasserspiegellage zu schließen sind. Dies gilt insbesondere auch für das Eindringen von Wasser durch die Kanalisation.

Die Anhebung von Tankanlagen im gewerblichen oder industriellen Bereich durch Aufschüttung oder Lagerung auf Stahlgerüsten (vgl. Fluorchemie in Dohna, Abbildung 6.7.2.4.2) ist als Nachrüstungsmaßnahme für den jeweiligen Einzelfall zu prüfen. Diese Maßnahmen sind vor allem dann interessant, wenn hierdurch zugleich auch ein Schutz vor Treibgut erreicht wird. Beispielsweise wäre auch bei den in den Abbildungen 6.6.3.4.3 und 6.6.3.4.4 dargestellten Behältern eine nachträgliche Erhöhung des Aufstellungsniveaus, z.B. durch eine Verstärkung der Betonsockel (Abbildung 6.6.3.4.3), durchführbar. Derartige Maßnahmen sind jedoch meist nur für Anlagen in Betracht zu ziehen, die im Freien aufgestellt sind. Darüber hinaus ist eine Erhöhung der Aufstellung von vorhandenen Behältern nur dann als Möglichkeit in Betracht zu ziehen, wenn sie mit einem Kran in einem Stück gehoben werden können. Für Tankanlagen, die in Segmentbauweise erstellt wurden, ist das Anheben des Aufstellungsniveaus unverhältnismäßig.

Eine der wichtigsten Nachrüstungsmaßnahmen für die trockene Vorsorge ist die Bereithaltung von Pumpen, wenn Wasser diffus, z.B. durch nicht zugängliche Drainageleitungen in den zu schützenden Bereich eintritt, wie dies z.B. in privaten Häusern oftmals eintreten kann. Wie eigene Erfahrungen gezeigt haben, sind je nach örtlicher Lage Pumpen erforderlich, die mindestens 200 l/min gegen eine Höhe von 4 m fördern können. Für den industriellen und gewerblichen Bereich sind dagegen wesentlich leistungsfähigere Pumpen in Sammelschächten zu installieren.

### 7.2.3.3 Nachrüstung von Anlagen zur nassen Vorsorge

Sollte eine trockene Vorsorge nicht möglich sein, sind alle Maßnahmen zur nassen Vorsorge zu prüfen. Die meisten der in Kapitel 7.1.2 aufgezählten Maßnahmen der nassen Vorsorge sind auch als Nachrüstungsmaßnahme für Betriebsbereiche, VAwS-Anlagen, Flüssiggaslagerbehälter anwendbar. Hierzu zählen

- die Sicherung von Behältern in Gebäuden oder oberirdischen Anlagen im Freien gegen Auftrieb durch Gurtsysteme, Verschraubungen usw.,
- die Verbesserung der Auftriebssicherheit von unterirdischen Behältern durch Erhöhung der Erdüberdeckung oder durch Aufbringen einer Betonplatte,
- die Sicherung der Anlagen vor Wassereintritt oder Austritt von Stoffen (Installation von Ventilen, Verlängerung von Einfüllstutzen und Entlüftungsleitungen oberhalb der Wasserlinie usw.) und
- der Schutz vor Treibgut und Eisgang (z.B. durch Leitbleche).

Darüber hinaus wird auf die Empfehlungen der Flussgebietskommissionen verwiesen, deren Vorschläge im Kapitel 3.5 dargestellt sind [IKSE 2002, IKSR 2002]. Bisweilen helfen verhältnismäßig einfache und kostengünstige Maßnahmen zur Sicherung von Tankanlagen in privaten Haushalten. Ein Beispiel hierfür zeigt die **Abbildung 7.2.3.1**, wo ein Aufschwimmen des Tanks mit Hilfe eines Stempels gegen die Kellerdecke verhindert wird. Schwierigkeiten können bei dieser Maßnahme dann auftreten, wenn der Behälter in eine Drehbewegung gerät.

**Abbildung 7.2.3.1**:
Stempel zur Sicherung eines Tanks gegen Auftrieb

Problematisch werden die nassen Vorsorgemaßnahmen immer dann, wenn die Anlage bzw. ein Tank z.B. im halbleeren Zustand nicht geeignet ist, dem äußeren Wasserdruck zu widerstehen. In diesen Fällen muss der Tank komplett ausgetauscht werden.

## 7.3 Organisatorische Maßnahmen zur Hochwasservorsorge

Die organisatorischen Maßnahmen zum Hochwasserschutz nach dem Stand der Technik (richtiger bezeichnet als neuester Stand organisatorischer Maßnahmen) umfassen zahlreiche Aspekte, die im Folgenden näher erläutert werden. Im Wesentlichen umfassen die organisatorischen Maßnahmen 7 aufeinander aufbauende Arbeitsschritte aus Sicht der Betriebe oder der zuständigen Industrieparkgesellschaft:

1. Informationsbeschaffung und Auswertung von möglichen Hochwasserständen und Flusscharakteristiken sowie der behördlichen Vorsorgemaßnahmen bzgl. des Gefährdungspotenzials der betrachteten Anlage
2. Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes entsprechend den zuvor erläuterten Möglichkeiten der trockenen und nassen Vorsorge
3. Erarbeitung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen unter besonderer Berücksichtigung der Gefahren durch Hochwasser inkl. der Notfallplanung für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten entsprechend der Störfall-Verordnung mit Abstimmung der Planungen mit den Katastrophenschutzbehörden
4. Erarbeitung eines Katastrophenplanes durch die Katastrophenschutzbehörden
5. Erprobung der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung mit den Behörden, der Feuerwehr bzw. Wasserwehr sowie weiteren beteiligten Institutionen
6. Kommunikation mit den behördlichen Katastrophenschutzämtern, Bewertung eintreffender Informationen und Veranlassung von Maßnahmen zum Hochwasserschutz im Ereignisfall
7. Organisation von Maßnahmen zur Verminderung der Umweltauswirkungen bei Schadstofffreisetzungen

### 7.3.1 Informationsbeschaffung

Vor Ausarbeitung eines betrieblichen Hochwasserschutzkonzeptes müssen die betroffenen Betriebe oder Industrieparkgesellschaften sich die amtlichen Gefahrenkarten über Überschwemmungsgebiete und in Zukunft auch über überschwemmungsgefährdete Gebiete von den Behörden geben lassen, wie dies die Bayer Bitterfeld GmbH getan hat. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei der örtliche Wasser-

stand, der sich aus dem festgelegten Bemessungshochwasser ergibt und in den Gefahrenkarten ablesbar ist. Diese Wasserstände sind mit den Höhenangaben des Betriebsgeländes bzw. der betroffenen Anlagen in Beziehung zu setzen, um die gefährdeten Bereiche zu ermitteln. Darüber hinaus muss auch Klarheit über die möglicherweise auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten herrschen. Die zur Verfügung stehenden Hilfsmittel wurden in Kapitel 5.2 ausführlich dargestellt. Eine erste Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit lässt sich im Einzelfall auch aus der Flussgebietscharakteristik ableiten. In diesem Zusammenhang ist auch eine erste Einschätzung zu möglichem Treibgut oder Eisgang erforderlich.

Darüber hinaus sind die realisierten und die perspektivischen Hochwasserschutzmaßnahmen der Behörden aus dem Blickfeld des Betriebes zu beurteilen. Dies wird besonders augenscheinlich am Beispiel des Chemieparks Bitterfeld, wo die Deichbaumaßnahmen an einer Stelle enden und damit eine Überschwemmungsgefahr für das Gelände nach wie vor besteht. Die Maßnahmen zum betrieblichen Hochwasserschutz müssen sich ausschließlich an den aktuellen Gegebenheiten orientieren.

### 7.3.2 Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes

Die Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Sicherung von Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen sowie von VAwS-Anlagen, hängt von zahlreichen Faktoren ab, die im Rahmen der nachfolgenden Fallunterscheidung diskutiert werden.

- Vorwarnzeit

  Wie die Untersuchungen in den Modellregionen gezeigt haben, ist je nach Randbedingungen von sehr unterschiedlichen Vorwarnzeiten auszugehen. Die Vorwarnzeit $t_{Vorwarn}$ ist die Zeitspanne, die bei Erkennung der Hochwassergefahr potenziell zur Verfügung steht, um Maßnahmen, wie z.B. der Aufbau von mobilen Schutzeinrichtungen oder das Abfahren von Anlagen, einzuleiten. Sie ist abhängig von:

  - der Größe und hydrologischen Charakteristik des Einzugsgebietes,
  - der individuellen Ausprägung des hochwasserverursachenden Niederschlagsereignisses sowie
  - der Effektivität des Warn- und Meldewesens.

An kleineren Gewässern, die Gebirgsregionen entwässern, wie z.B. der Müglitz oder der Weißeritz im Osterzgebrige, liegen die Vorwarnzeiten immer deutlich niedriger als am Niederrhein oder an der Elbe. Bei größeren Einzugsgebieten kann die Hochwassergefahr prinzipiell über beobachtete oder vorhergesagte Wasserstände bzw. Abflüsse an Messpegeln entlang der Fließgewässer rechtzeitig erkannt und zur Auslösung einer ersten Alarmierungsphase genutzt werden. Bei kleinen Einzugsgebieten bzw. steilem Abflussregime kann diese Information oftmals nicht oder nicht rechtzeitig zur Verfügung gestellt werden. Die Warnung vor Hochwassergefahr orientiert sich dann hauptsächlich an Ergebnissen von Niederschlagsvorhersagen und Abflussmodellen. Diese sind jedoch mit z.T. starken Unsicherheiten behaftet.

Für die Einsetzbarkeit von mobilen Hochwasserschutzsystemen ist die Bereitstellungszeit für mobile Systeme entscheidend. Es muss sichergestellt sein, dass der Aufbau bzw. die Bereitstellung der mobilen Anlage innerhalb der Vorwarnzeit umgesetzt wird. Es gilt:

$$t_{Vorwarn} > t_{Bereitst.} > (t_{Alamierung} + t_{Installation} + t_{Sicherung}) * c_{Sicherheit}$$

$$\text{mit} \quad t_{Alamierung} = t_{Benachrichtigung} + t_{Anreise}$$

$$t_{Installation} = t_{Beladung} + t_{Transport} + t_{Aufbau}$$

Die Bereitstellungszeit ist im Wesentlichen abhängig von:

- der Art des Schutzsystems (beeinflusst Verladezeit, Transportzeit und Aufbauzeit),
- der Länge und Höhe der Anlage (beeinflusst Verladezeit, Transportzeit und Aufbauzeit),
- der Distanz zwischen Lagerstätte der mobilen Elemente und deren Einsatzort (beeinflusst die Transportzeit),
- den Zugänglichkeiten (beeinflusst Transportzeit, Entladezeit, Aufbauzeit und Sicherungszeit, z.B. durch Freihaltung bzw. Räumung von Zufahrtswegen etc.),
- dem Potenzial an Einsatzkräften und Maschinen (beeinflusst alle zeitlichen Komponenten, Anzahl und Ausbildungs- bzw. Trainingsstand sowie Wartung und Einsatzbereitschaft).

Die einzelnen zeitlichen Komponenten können sich stark überschneiden, da die Abläufe nicht zwangsläufig nacheinander erfolgen müssen. Unabhängige Arbeiten und Abläufe können bei entsprechender Planung auch parallel

erfolgen. Die Koordination ist Sache der Einsatzplanung und die Möglichkeiten hängen zum Teil vom System, in erster Linie aber von den personellen Kapazitäten ab. Während am Lagerplatz noch verladen wird, kann ein Einsatztrupp schon die sichernden Arbeiten durchführen, ein anderer die vorlaufenden Reinigungen am Systemstandort etc.

Die Risiken eines Versagens von mobilen Schutzeinrichtungen durch verspätete Hochwasserwarnung oder Schwierigkeiten beim Aufbau der Anlage müssen im Rahmen der Ausarbeitung von Hochwasserschutzkonzepten berücksichtigt werden.

In Fällen mit nicht ausreichenden Vorwarnzeiten kommen im Wesentlichen nur stationäre Maßnahmen der trockenen oder auch nassen Vorsorge zum Objektschutz in Frage. Hierzu zählen z.B. der Bau einer Hochwasserschutzwand, die Anhebung des Geländeniveaus in bestimmten Bereichen, wie z.B. für die Lagerung von Gefahrstoffen.

- Strömungsgeschwindigkeit und Treibgut

  Die Strömungsgeschwindigkeit und das Mitführen von Treibgut werden ebenfalls durch die Flussgebietscharakteristik bestimmt. Sie beinflussen maßgeblich die Wahl des geeigneten Hochwasserschutzsystems.

- Überflutung vorhandener Schutzsysteme

  Die Vorhersage der zu erwartenden Flutwelle bietet die Möglichkeit, sich rechtzeitig auf die Überflutung von vorhandenen Schutzmaßnahmen einzurichten. Dieses Ereignis ist abzugrenzen von einem möglichen Deichbruch. In Köln wird auf die Flutwellenvorhersage durch den Aufbau der mobilen Schutzwand reagiert. Dies gilt z.B. auch für Teile des Bayer Chemieparks Leverkusen. In beiden Fällen sind die Uferbefestigungen bzw. Schutzmaßnahmen so ausgelegt, dass eine Beschädigung der Uferbefestigungen praktisch ausgeschlossen werden kann.

- Versagen von mobilen Schutzsystemen

  Weil ein Versagen von mobilen Schutzsystemen grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann, sollte entsprechend den Empfehlungen der BWK eine Sperrzone hinter den mobilen Systemen eingerichtet werden.

- Überflutungen durch Deichbruch

  Im Falle eines Deichbruchs können große Flächen in kurzer Zeit überflutet werden, so dass bei einem solchen Ereignis unter Umständen auch keine längeren Vorwarnzeiten gegeben sind. Zwar wird das Aufweichen von

Deichen durch fortlaufende Kontrolle meist frühzeitig erkannt, dennoch können Deichbrüche an Stellen eintreten, deren Gefährdung nicht rechtzeitig bemerkt wurde. Durch Deichbrüche können nicht nur große Landstriche überflutet werden. In der Nähe der Bruchstelle treten zudem hohe Strömungsgeschwindigkeiten u.U. verbunden mit Treibgut auf, die ein zusätzliches Gefahrenpotenzial darstellen.

### 7.3.3 Erarbeitung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen[12]

Im Rahmen der Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen müssen die Gefahren, die durch Hochwasser ausgelöst werden können, beschrieben und diskutiert werden. Wie die Untersuchungen ergaben, wurden beispielsweise bei der Hermania in Schönebeck oder auch im Chemiepark Bayer in Leverkusen die Gefahrenabwehr bei Hochwasser in den betrieblichen, d.h. internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen beschrieben. Für den Standort Leverkusen wurde ein zweistufiges Konzept erarbeitet. Dies umfasst zum einen den Gesamtstandort und zum anderen die einzelnen Betriebsbereiche. Für das mittelständige Unternehmen Hermania wurde ein betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan für ihre Anlage nach der StörfallV entwickelt. Im Folgendem werden einige wichtige Elemente der Alarm- und Gefahrenabwehrpläne dargestellt.

Krisenstab

Für den Ereignisfall ist ein Krisenstab einzurichten, bei dem alle Informationen eintreffen und bewertet werden. Ihm obliegt die Kommunikation nach Außen sowie die Kompetenz, Anweisungen über Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu geben. Dies betrifft z.B. den Aufbau einer mobilen Schutzwand oder der Auslagerungen von Gefahrstoffen.

Gefahrstoff-lagerung

Im internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan muss auch dargestellt werden, wo im Falle einer Auslagerung von Gefahrstoffen geeignete Flächen vorhanden sind, die den gesetzlichen Anforderungen, wie z.B. der VAwS-Anlagenverordnung, entsprechen.

---

[12] Hinweis: Die Darlegungen zu Alarm- und Gefahrenabwehrplänen als auch zur Notabfallplanung werden gemäß Auftragsvorgaben (Leistungsbeschreibung) im weiteren Verlauf des Berichtes abgehandelt. Des weiteren ist zu diesem Thema auf die Ausführungen unter Kap. 10 und die entsprechenden Anhänge zu verweisen.

| | |
|---|---|
| Bereitstellung von Transportmitteln | Für die Auslagerung von Chemikalien müssen ausreichende Transportkapazitäten zur Verfügung stehen. Dies betrifft z.B. Gabelstapler als auch die Zahl der LKWs. |
| Ersatzteil- und Abfalllagerung | Wie sich bei den Untersuchungen in den einzelnen Modellregionen herausgestellt hat, ist die betriebsinterne sichere Lagerung von Gegenständen bei Hochwasser zum Schutz der Anlagen vor Treibgut von großer Bedeutung. Bei falscher Lagerung von Ersatzteilen oder ausgedienten Anlagenteilen können diese bei Gewässern mit hoher Strömungsgeschwindigkeit zu gefährlichem Treibgut werden. D.h. bei einer Gefahr der Flutung von Betriebsgeländen und möglicher hoher Strömungsgeschwindigkeit sind nicht nur die Gefahrstoffe vor Treibgut zu sichern, sondern auch alle Gegenstände, die zu gefährlichem Treibgut werden könnten (bis hin zum KFZ vgl. Abb. 6.7.2.3.2). |
| Bevorratung von mobilen Schutzmaßnahmen | Im Rahmen des internen Alarm- und Gefahrenabwehrplans muss dargestellt werden, wo und in welcher Menge die mobilen Einsatzmittel bevorratet werden. Die Durchführung der Sicherungsmaßnahmen der Trafostation auf der Kläranlage Bitterfeld/ Wolfen wurde dadurch verzögert, dass erst mühsam Sandsäcke beschafft werden mussten. |
| Maßnahmen zur Minimierung von Leckagen | Es sollen mobile Pumpen sowie Schläuche in ausreichender Länge bevorratet werden, um im Falle einer Leckage Flüssigkeiten aus einem beschädigten Behälter abpumpen zu können. |
| Organisation zur Havariebekämpfung | Im Bereich der Nord- und Ostseeanrainerländer ist bereits mit Unterstützung des Bundesinnenministeriums ein sogenanntes zentrales Havariekommando (Lage in Cuxhaven) 2004 eingerichtet worden. Die bereit liegenden Ölskimmerschiffe sind Eigentum der Länder und werden über angeschlossene Reedereien betrieben. Dieses System hat sich bewährt und sollte nach Ansicht der Berichterstatter auch auf potentiell gefährdete Binnengewässer unter Einbeziehung der betroffenen Länderanrainer übertragen werden. |

Ein grundsätzliches Hilfsmittel zur Erstellung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen stellt die Vollzugshilfe des BMU zur Umsetzung der Störfall-Verordnung

vom März 2004 dar, in der unter Anhang 7 entsprechende Vorgaben enthalten sind [BMU. 2004].

### 7.3.4 Abstimmung des internen Alarm- und Gefahrenabwehrplans mit dem Katastrophenschutzplan der Behörden

Wie die Untersuchungen in Schönebeck gezeigt haben, war der betriebliche Alarm- und Gefahrenplan zwar bei den Behörden eingereicht worden, eine Abstimmung mit den Planungen des Kreises hatte es jedoch nicht in der gebotenen Weise gegeben. So war z.B. die Feuerwehr in Schönebeck nicht über den Alarm- und Gefahrenabwehrplan der Hermania informiert. Der Industriepark Leverkusen hat dagegen seine Maßnahmen aufs engste mit der Stadt Köln abgestimmt.

### 7.3.5 Erprobung der internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

Die ausgearbeiteten betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne müssen mit den Behörden, der Feuerwehr bzw. Wasserwehren erprobt werden. Nur auf diese Weise können ggf. vorhandene Abstimmungsschwierigkeiten und technische Mängel erkannt und beseitigt werden. Dies gilt für die Kommunikationswege, die Einsatzplanung der Hilfskräfte sowie für die Erprobung der technischen Ausrüstung.

### 7.3.6 Kommunikation mit den Katastrophenschutzämtern

Entscheidend für den Erfolg von Maßnahmen ist die enge Kommunikation zwischen den zuständigen Behörden und den relevanten Betrieben im Ereignisfall. Hierzu sind schnelle Kommunikationswege erforderlich, die ausschließlich den Betrieben zur Verfügung stehen müssen. Die von den Fachbehörden eintreffenden Informationen über zu erwartende Unwetter, Wasserstände und Zeitspannen für die eintreffende Hochwasserwelle müssen möglichst ohne Zeitverzug an die Anlagenbetreiber weitergeleitet werden, damit diese die geeigneten Maßnahmen mit den Behörden, Feuerwehren usw. abstimmen und einleiten können.

## 7.4 Zusammenfassung des Standes der Technik zum vorbeugendem Hochwasserschutz

Der Stand der Technik zum vorbeugendem Hochwasserschutz wird beschrieben durch

- die praktisch geeigneten Maßnahmen der trockenen Vorsorge (Kapitel 7.2.1) sowie der nassen Vorsorge (Kapitel 7.2.2),
- die verfügbaren Maßnahmen, die eine Gewähr der praktischen Eignung darstellen (Kapitel 7.2.1.3),
- die technischen Möglichkeiten zur Nachrüstung (Kapitel 7.2.3) sowie durch
- die organisatorischen Maßnahmen (Kapitel 7.3).

Anlagen, die eine technische und organisatorische Gesamtkonzeption auf der Basis der dargestellten Vorsorgevarianten realisiert haben, sind bzgl. des Hochwasserschutzes Anlagen nach dem Stand der Technik. Die Berücksichtigung der Technischen Regelwerke ist dabei eine Grundvoraussetzung.

## 7.5 Technische Maßnahmen zur Begrenzung von Freisetzungen

In den folgenden Kapiteln werden Maßnahmen zur Begrenzung von Freisetzungen dargestellt. Dabei muss in Maßnahmen unterschieden werden, die vor Ort durch die Anlagenbetreiber durchgeführt werden können und solchen, die auf dem Gewässer durch verschiedene Institutionen, wie z.B. der Feuerwehr oder dem Technischen Hilfswerk, eingesetzt werden.

### 7.5.1 Maßnahmen an der Ausstrittstelle

Wesentlichster Punkt zur technischen Begrenzung ist eine Abschottung von leckgeschlagenen Einheiten bzw. Komponenten zur Reduzierung des Austritts eines gefährlichen Stoffes. Im Falle der Detektierung einer Stofffreisetzung aus Betriebsbereichen oder VAwS-Anlagen, die Teil eines Betriebsbereiches sind, soll zur Reduzierung der Austrittsmengen automatisch der betroffene Betriebs- bzw. Anlagenbereich bzw. die Komponente, an der ein Leck aufgetreten ist, über Schnellschlussarmaturen in kürzester Zeit eingeblockt werden können.

Bei gasförmigen Freisetzungen besteht i.d.R. keine direkte Begrenzungsmöglichkeit, sobald der Stoff ins Freie ausgetreten ist. In Fällen, wo dies durch Wasserberieselung oder Wasserschleier möglich wäre, sollte auf jeden Fall beurteilt werden, ob dies sinnvoll ist (Beispiel Chlor).

Ein probates Mittel zur Begrenzung ist das Abpumpen von gefährlichen Stoffen aus leckgeschlagenen Komponenten in freie Volumina anderer Behälter bzw. Transportbehälter (TKW/KW). Stand der Technik ist die Vorhaltung von entsprechenden Leertanks oder -behältern sowie von Notpumpen bzw. mobilen Pumpen mit Verbrennungsmotorantrieben. Diese sollen auch das Absaugen von Stoffen aus Tassen oder Wannen in geschlossene Behälter ermöglichen. Mobile Barrieren sollten zum Einsatz gelangen, um ausgetretene Medien vor einem Eintrag in Gewässer zurückzuhalten. Flüssige gefährliche Stoffe, welche in Gewässer gelangen, lassen sich durch Barrieren, sofern sie auf der Oberfläche schwimmen, eindämmen und ggf. durch Skimmer zurückgewinnen.

Ein wesentlicher Punkt zur Begrenzung von Freisetzungen sind Maßnahmen zum Abdichten von Lecks mit verschiedenen Methoden. Diese Maßnahmen müssen in den betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen dargelegt sein.

Maßnahmen zur Leckabdichtung von privaten Heizöltanks sind vor allem deshalb problematisch, weil derartige Tanks in den meisten Fällen im Untergeschoss aufgestellt sind und welche im Falle einer Überschwemmung weitgehend geflutet sind (vgl. Abbildung 4.1.3). Der Versuch zur Abdichtung einer Leckage ist daher mit dem erhöhten Risiko eines Personenschadens verbunden.

### 7.5.2 Maßnahmen auf dem Gewässer

Seit vielen Jahren beschäftigen sich Spezialisten mit der Frage der Bekämpfung von Flüssigchemikalien auf und in Gewässern [Oebius, 2004]. Dabei beschränken sich die Möglichkeiten zur Rückhaltung und Rückgewinnung auf Stoffe, die sich auf der Oberfläche des Wassers befinden. D.h. es handelt sind um Öle und Ölderivate, die leichter als Wasser sind und sich zudem mit Wasser nicht oder nur geringfügig mischen.

Der Erfolg einer Maßnahme hängt von ihrer schnellen Umsetzung ab. Oebius stellt fest, dass der auf der Oberfläche driftende Schadstoff sich aufgrund der natürlichen

Dispersion innerhalb kurzer Zeit auch im aquatischen Raum verteilt und sich damit in den meisten Fällen einem Zugriff entzieht.

Die derzeit vorhandenen technischen Konzeptionen können wie folgt eingeteilt werden:

- Lenkung und Konzentrierung durch Sperren und Barrieren (passive Maßnahme)
- Skimmverfahren (aktive Maßnahme)
- sonstige Verfahren (z.B. biologische Abbauverfahren)

Der Einsatz von Sperren als passive Maßnahme ist ein weit verbreitetes Verfahren zur Verhinderung der Ausbreitung von schwimmenden Chemikalien. Grundlegende Bedingung für die Konstruktion und den Einsatz von Sperren ist, dass sie den auf ihnen lastenden Zugkräften widerstehen und ihren Zweck der optimalen Rückhaltung erfüllen. Der Einteilung der verschiedenen Sperrsysteme zeigt **Abbildung 7.5.2.1**. **Abbildung 7.5.2.2** zeigt eine Lenksperre im Einsatz.

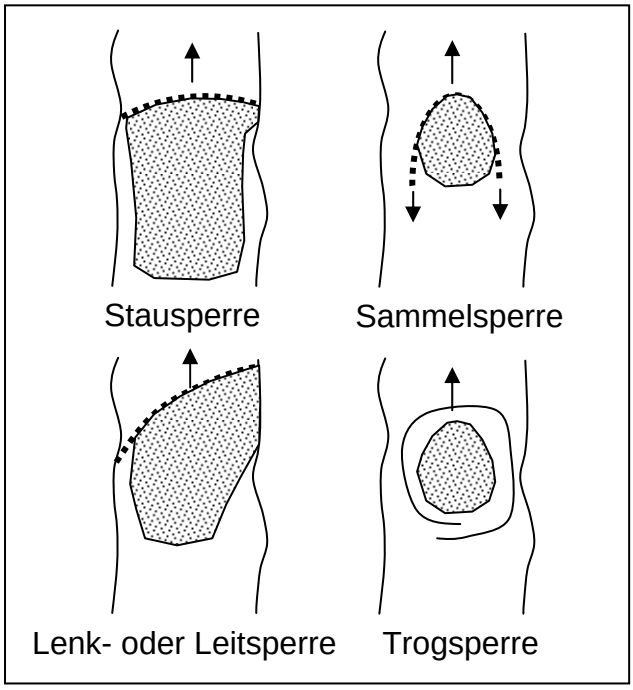



**Abbildung 7.5.2.1**: Einteilung von Sperren und Barrieren

**Abbildung 7.5.2.2**: Lenksperre (Ölsperre Heywinkel)

In Feld- und Modellversuchen wurde ermittelt, dass ab einer Anströmgeschwindigkeit von mehr als 0,37 m/s drastische und stetig wachsende Verluste der rückgestauten Chemikalien für Trog-, Stau- und Sammelsperren eintreten [Fannelop, 1983]. Wenn diese Anströmgeschwindigkeit überschritten wird, müssen spezielle Maßnahmen ergriffen werden, wie z.B. der Einsatz als Leitsperre. Mit u = 0,37 m/s errechnet sich der erforderliche Anstellwinkel α in erster Näherung wie folgt:

$$\alpha_{max} = 20\ u^{-1,125}$$

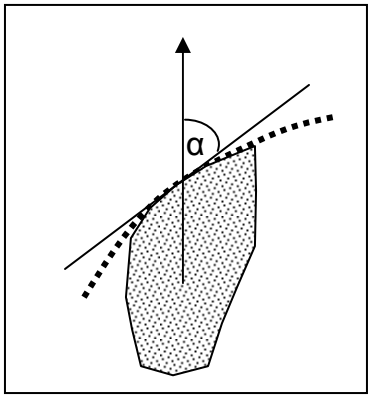



**Abbildung 7.5.2.3**:
Maximaler Anstellwinkel für eine Leitsperre

Unabhängig von konstruktiven Details, wie Schwimmstabilität und Festigkeit der Sperren wird die Einsetzbarkeit der Barrieresysteme im Hochwasserfall durch folgende Faktoren begrenzt:

- Die Strömungsgeschwindigkeit muss i.d.R. < 0,4 m/s sein. Dies bedeutet, dass der Einsatz der vorgestellten Sperren für Gewässer mit hoher Strömungsgeschwindigkeit grundsätzlich nicht möglich ist.
- Obwohl die meisten Systeme für große dynamische Wasserdrücke ausgelegt sind, besteht die Gefahr, dass die Grenze der Zugfestigkeit bei Treibgut überschritten wird.
- Bei großen überfluteten Gebieten gibt es meist keine Fixpunkte zur Befestigung der Sperren.

Mit diesen wenigen Einschränkungen wird deutlich, dass nach Auffassung der Berichterstatter der Einsatz dieser Barrieresysteme im Hochwasserfall stark von den örtlichen Randbedingungen abhängt. Sperren können daher nicht als generell einsetzbar eingestuft werden.

Alle anderen passiven Verfahren, wie z.B. Rückstau durch Auftriebstrahlen mit Tiefenwirkung, Rückstau bei horizontalen Oberflächenstrahlen usw., haben für den Hochwasserfall ihre Eignung nicht nachgewiesen und repräsentieren nach Auffassung der Berichterstatter nicht den Stand der Technik.

Der Einsatz von schwimmenden Ölskimmern hängt bei Hochwasser ganz wesentlich von der Erreichbarkeit der Schadensquelle ab. Weil der Schiffsverkehr bei Hochwasser wegen Brücken nur schwer möglich ist, ist der Einsatz derartiger Schiffe stark eingeschränkt. Solche Schiffe müssten daher lokal innerhalb bestimmter Flussabschnitte vorgehalten werden. Grundsätzlich sind derartige Schiffe geeignet, die Ausbreitung von Öl zu vermindern, wobei sie jedoch meist für den Off-shore-Bereich konzipiert werden. Eine neue Version sogenannter Skimming-Schiffe mit sehr geringen Tiefgängen kann allerdings auch problemlos bei ausreichender Motorisierung in Flüssen eingesetzt werden, wie die **Abbildungen 7.5.2.4** und **7.5.2.5** zeigen. Diese Schiffsform wurde an der Nordsee speziell für den Einsatz auf anschließenden Binnengewässern entwickelt.

Technische Daten: Länge ü.a. 34 m, Breite ü.a. 12 m, Tiefgang leer 0,8 m, Tiefgang mit gefüllten Tanks 1,8 m, Tankkapazität ca. 300 m³

**Abbildung 7.5.2.4**: “M POSS“ Multi Purpose Oil Skimmer System

Technische Daten: Länge ü.a. 49 m, Breite ü.a. 27 m, Tiefgang leer 0,9 m, Tiefgang mit gefüllten Tanks 4 m, Tankkapazität max. 2.000 m³

**Abbildung 7.5.2.5**: Oil Skimming Recovery Catamaran

Es sind darüber hinaus, speziell in den USA, sogenannte trailerbare kleinere Schiffseinheiten speziell für den Einsatz auf Binnengewässern auf dem Markt verfügbar, welche allerdings in Deutschland – soweit bekannt – keine Verwendung finden.

Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten der großen Flüsse bei Hochwasser ist die Möglichkeit des Einsatzes dieser Schiffe allerdings als begrenzt einzuschätzen. Es bedarf einer hohen Qualität der Einsatzteams mit schnellen Booten, um

erfolgreich Öl zu skimmen, wie dies bereits im Off-shore-Bereich an der Nord- und Ostsee möglich ist. Geringere Strömungsgeschwindigkeiten sind nur in den überfluteten Stillwasserzonen vorhanden.

## 7.6 Hinweise und Ansätze zur Ermittlung von Störfallauswirkungen bei Stofffreisetzungen und mögliche Maßnahmen im Falle von Freisetzungen

Entsprechend § 3 der Störfall-Verordnung sind Betreiber von Betriebsbereichen verpflichtet, Vorkehrungen zu treffen, um durch Maßnahmen und Einrichtungen Störfälle und damit deren Auswirkungen zu verhindern und bei Freisetzungen von gefährlichen Stoffen vorbeugende Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen auf die Umwelt so gering wie möglich zu halten, wobei nach § 3 Abs. 2 Nr. 2 die Gefahrenquelle Hochwasser expressis verbis genannt wird. Für Anlagen, auf die die erweiterten Pflichten anzuwenden sind, muss der Betreiber einen Sicherheitsbericht erarbeiten, der u.a. auch mögliche Auswirkungen von Störfällen auf Mensch und Umwelt berücksichtigt.

Wie die Untersuchungen in den Modellregionen gezeigt haben, werden für Anlagen, die unter die erweiterten Pflichten fallen, derzeit unter dem Gesichtspunkt Hochwasser keine Auswirkungsbetrachtungen durchgeführt, weil u.a. keine allgemein gültigen Grundsätze und Berechnungsmöglichkeiten über die damit verbundenen Auswirkungsbetrachtungen vorliegen. Insofern können in diesem Abschnitt nur Hinweise und Ansätze zur Ermittlung von Störfallauswirkungen bezogen auf die Einbringung von Schadstoffen in Gewässer bei Stofffreisetzungen und mögliche Maßnahmen im Falle von Freisetzungen gegeben werden.

Die nachfolgenden Ausführungen

- zum Erkennen von störfall- bzw. schadensbedingten Freisetzungen von gefährlichen Stoffen,
- Methoden zur Abschätzung der Freisetzungsmengen,
- Methoden zur Abschätzung der Folgen einer Freisetzung und
- Bewertung der Wirkung von Freisetzungen

sind daher aus anderen Aufgabenstellungen für die Gefahrenquelle Hochwasser abgeleitet.

### 7.6.1 Erkennen von störfall- bzw. schadensbedingten Freisetzungen von gefährlichen Stoffen

Um z.B. vorprojektierte, geplante Maßnahmen im Falle von Stofffreisetzungen umzusetzen, ist zunächst der Freisetzungsort, der freigesetzte Stoff sowie die Freisetzungsrate zu ermitteln. Der Freisetzungsort bei einem Schaden durch Hochwasser und damit auch die Art des Stoffes kann durch die maximal zu erwartende Wasserlinie eingegrenzt werden, die aus den behördlichen Überschwemmungskarten (vgl. Köln) zu entnehmen ist. Durch den Vergleich der Wassertiefe mit den jeweiligen Höhenlagen der verschiedenen Anlagenteile lassen sich die kritischen Bereiche der Anlagen eingrenzen. Damit ergeben sich auch gleichzeitig die Stoffe, die in diesen Bereichen gehandhabt werden.

Folgende Schadenereignisse sind beispielsweise zu berücksichtigen:

- Abreißen von Rohrleitungen durch Auftrieb von Behältern oder Treibgut
- Verformen von Behältern oder Tanks durch Auftrieb oder äußeren Druck
- Leckschlagen von Behältern oder Tanks durch Treibgut
- Zerstörung von Behältern durch Treibgut
- Beschädigung oder Abriss von Armaturen
- Kurzschluss durch Abriss von Kabeln zur Energieversorgung, der MSR oder Steuerung von Einzelkomponenten

Schadenereignisse mit einer Stofffreisetzung werden i.d.R. bei Anlagen durch die MSR bzw. das PLT erfaßt, wie z.B. Druck- und Temperaturüberwachung, Stand- und Strömungsmessung als auch Analysenmessungen und automatisch in einer Messwarte aber auch vor Ort mit entsprechenden optischen und/oder akustischen Alarmen gemeldet. Mögliche Schadenfälle sind jedoch auch bei Ausfall der MSR-/PLT-Technik u.U. durch folgende Indikatoren erkennbar, sofern die Zugänglichkeit zur Anlage gegeben ist:

- Druckabfall (u.a. erkennbar durch örtliche Druckmessgeräte)
- örtliche Füllstandsanzeigen
- Geruchs- und Geräuschentwicklungen
- Verfärbung des Wassers
- Aufschwimmen von Stoffen
- mobile Detektoren, wie Gaswarngeräte
- sichtbare Beschädigung von Behältern oder Rohrleitungen
- Eindringen von Treibgut

Nach Erkennen einer Leckage muss dies sofort der zentralen Messwarte sowie dem Alarm- und Gefahrenabwehrzentrum eines Betreibers mitgeteilt werden.

### 7.6.2 Methoden zur Abschätzung der Freisetzungsmengen

Die Freisetzungsmenge pro Zeiteinheit, als Freisetzungsrate bezeichnet, hängt von der Leckgröße, der Art und Form des Lecks, der Viskosität des Mediums, dem Druck vor dem Leck (also in der Komponente plus geodätischem Druck), dem Zustand des Mediums (gasförmig, flüssig oder unter Druck verflüssigt) ab. Die Gesamtleckmenge ergibt sich aus der Zeit bis zum Abdichten eines Lecks. Die Freisetzungsrate ist am einfachsten über die Änderung der Füllstandsanzeige für flüssige Medien oder über den Druckabfall bei verdichteten Gasen ermittelbar. Kann ein Leck nicht abgedichtet werden und tritt die gesamte in einem Behälter befindliche Menge aus, so muss für die weitere Betrachtung die größte zusammenhängende Menge (GZM) berücksichtigt werden.

Leckraten können im Allgemeinen unter Berücksichtigung der vorgenannten Parameter entsprechend der Leckgröße und der Leckform – hier spielt die unterschiedliche Ausflussziffer eine wesentliche Rolle – berechnet werden. Bei der Ermittlung von Leckgrößen ist auch die Werkstoffeigenschaft zu berücksichtigen. Aufgrund der überwiegenden Verwendung von zähen Werkstoffen bei der Konstruktion von sicherheitsrelevanten Behältern, z.B. bei Anlagen nach der Störfall-V, wird es in solchen Fällen nicht zu größeren Lecks aufgrund eines Leck- vor Bruchverhaltens kommen. Der Einsatz von geeigneten, d.h. zähen Werkstoffen ist nach Ansicht der Berichterstatter für die Minimierung von Leckgrößen, z.B. verursacht durch Treibgut, auch bei Behältern, z.B. Öltanks, in technischen Bereichen, in denen keine Regelwerke die Verwendung von zähen Werkstoffen verlangen, erforderlich. In Chemieanlagen ist dies allerdings aufgrund der erforderlichen Materialauswahl in

Bezug auf eine Beständigkeit der gehandhabten Medien nicht immer möglich. (Nähere Informationen siehe Literatur der einschlägigen Werk-Stoffkunde, wie Stahlschlüssel etc.)

### 7.6.2.1 Leckagen oberhalb der Wasserlinie

- Austritt von Flüssigkeiten

Der austretende Flüssigkeitsmassenstrom oberhalb der Wasserlinie lässt sich allgemein unter stationären Bedingungen nach Bernoulli mit folgender Gleichung ermitteln (stationäre Bedingungen: Austritt bei konstanten Flüssigkeitspegel und Behälterdruck):

$$\dot{m} = \alpha \cdot A \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}\left(p_B - p_u\right) + 2 \cdot g \cdot h}$$

mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\dot{m}$ | = | Flüssigkeitsmassenstrom | [kg/s] |
| $\alpha$ | = | Ausflusszziffer 0,17 bis 0,62 | [-] |
| A | = | Querschnittsfläche des Lecks | [m²] |
| $\rho$ | = | Dichte der Flüssigkeit | [kg/m³] |
| $p_B$ | = | abs. Behälterdruck (Druck im Gasraum über dem Flüssigkeitspegel) | [Pa] |
| $p_u$ | = | Umgebungsdruck (Atmosphärendruck) | [Pa] |
| $g$ | = | Erdbeschleunigung | [m/s²] |
| $h$ | = | Höhendifferenz zwischen Flüssigkeitspegel und Leck | [m] |

- Freisetzung von Gasen und Dämpfen

Bei einer Freisetzung von Gasen und Dämpfen werden verschiedene Methoden zur Austrittsermittlung, welche in der Fachliteratur [DECHEMA 1986 u.1987] angegeben sind, angewandt. Im Allgemeinen können für Behälterausströmung (isentrope und reale Zustandsänderung bei geringen Überdrücken) folgende Gleichungen verwendet werden:

Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit v:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \chi}{\chi - 1} \cdot R_i \cdot T_1 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{\chi - 1}{x}} \right]}$$

mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| v | = | Strömungsgeschwindigkeit | [m/s] |
| $\varphi$ | = | Geschwindigkeits- oder Reibungsbeiwert, $\varphi < 1 \Rightarrow$ reale Strömung | [-] |
| $\chi$ | = | Isentropenexponent | [-] |
| $R_i$ | = | spez. Gaskonstante | [J/(kg·K)] |
| $T_1$ | = | Temperatur des Gases in Behälter | [K] |
| $p_1$ | = | abs. Druck im Behälter | [Pa] |
| $p_2$ | = | atm. Druck | [Pa] |

Berechnung des austretenden Massenstroms $\dot{m}$

$$\dot{m} = \mu \cdot \psi \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}$$

mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\dot{m}$ | = | austretender Gasmassenstrom | [kg/s] |
| $\mu$ | = | Einschnürungsfaktor, $\mu < 1 \Rightarrow$ reale Strömung | [-] |
| $\Psi$ | = | Ausflussfunktion | [-] |
| $A$ | = | Leckquerschnitt | [m²] |
| $\rho_1$ | = | Dichte des Gases im Behälter | [kg/m³] |
| $p_1$ | = | abs. Druck im Behälter | [Pa] |

Berechnung der Ausflussfunktion:

$$\Psi = \sqrt{\frac{\chi}{\chi - 1} \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{x}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x+1}{x}} \right]}$$

mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\Psi$ | = | Ausflussfunktion | [-] |
| $\chi$ | = | Isentropenexponent | [-] |
| $p_1$ | = | abs. Druck im Behälter | [Pa] |
| $p_2$ | = | atm. Druck | [Pa] |

- Die max. Leckrate wird erreicht, wenn im engsten Strömungsquerschnitt die Schallgeschwindigkeit auftritt, d.h. es liegt das kritische Druckverhältnis vor. Hierbei ist die Ausflussfunktion $\Psi = \Psi$ max.

kritisches Druckverhältnis $$\frac{p_s}{p_1} = \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{2}{\chi+1}\right)^{\frac{\chi}{\chi-1}}$$

Bei einer isentropen Zustandsänderung erfolgt kein Wärmeaustausch des Gases mit der Umgebung. Dies wird in der Realität nicht erreicht, deshalb wird die polytrope Zustandsänderung eingeführt. $p.V^n$ = const., n liegt zwischen 1 und $\chi$. (Die Isentrope ist ein Sonderfall der Polytrope mit $\chi$ = n.) Da der Polytropenexponent n i.d.R. nicht bekannt ist, wird mit $\chi$ gerechnet und die Leckrate daher konservativ ermittelt, d.h. etwas zu hoch gerechnet.

Beziehungen für isentrope kritische (max.) Ausströmraten:

$$\dot{m}_{\max} = \psi_{\max} \cdot \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}$$

mit :

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\Psi_{max}$ | = | Ausflussfunktion für kritische Strömung | [-] |

$$\psi_{\max} = \sqrt{\frac{\chi}{\chi+1}} \cdot \left(\frac{2}{\chi+1}\right)^{\frac{1}{\chi-1}}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\mu$ | = | Einschnürungsfaktor, $\mu < 1 \Rightarrow$ reale Strömung (wird ersetzt durch die Ausflussziffer $\alpha$ der Leck-öffnung; $\alpha$ = 0,17 -0,38 bei Spaltströmung, $\alpha$ = 0,62 bei kreisförmiger scharfkantiger Lecköffnung) | [-] |
| $A$ | = | Leckquerschnitt | [m²] |
| $\rho_1$ | = | Dichte des Gases im Behälter | [kg/m³] |
| $p_1$ | = | abs. Druck im Behälter | [Pa] |

### 7.6.2.2 Leckagen unterhalb der Wasserlinie

Im Falle einer Freisetzung von Flüssigkeit oder Flüssiggas aus einem Leck unterhalb der Wasseroberfläche bei einem überfluteten Behälter sind folgende Vorgänge zu berücksichtigen:

- Treibende Druckdifferenz ($p_i$ - $p_u$) an der Leckstelle zur Ermittlung der Leckrate

  $p_i$ Innendruck = Summe aus Druck im Gasraum des Behälters (=Dampfdruck des Flüssiggases bzw. Druck eines Überlagerungsgases (z.B. Inertgas) oder Atmosphärendruck bei freibelüftetem Behälter für Flüssigkeiten unterhalb der Siedetemperatur) und dem hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule über der Leckstelle

  $p_u$ Umgebungsdruck (Außendruck) = Summe aus Atmosphärendruck und dem hydrostatischen Druck der Wassersäule über der Leckstelle (Überflutungshöhe)

- Leckageabläufe

  a) Freisetzung von Flüssigkeit mit einer Dichte < 1 kg/l:

     Bei einem seitlichen Leck oder einem solchen im oberen Bereich eines Behälters wird Wasser in den Behälter eindringen und die verdrängte leichtere Flüssigkeit austreten. Die austretende Flüssigkeitsmenge erhält einen Auftrieb entsprechend dem Gewicht des jeweils verdrängten Wasservolumens (Gewichtskraft). Die Leckmenge – abzüglich der im Wasser gelösten Menge – bildet auf der Wasseroberfläche eine Lache. Die Auftriebskraft wirkt senkrecht nach oben [Archimedes]. Ansätze für eine Ermittlung ergeben sich u.a. aus den Berechnungsmethoden zur Flüssig-Flüssig-Extraktion [Ullmann].

  b) Freisetzung von Flüssigkeit mit einer Dichte = 1 kg/l:

     Die Flüssigkeit wird im Wesentlichen im leckgeschlagenen Behälter verbleiben. Es erfolgt eine sehr geringer Austausch über die Leckfläche mit Wasser durch Vermischung. Die austretende Flüssigkeitsmenge bildet eine entsprechende Schichtung in Höhe der Leckstelle aus, verteilt sich im Wasser und gelangt je nach Strömung durch Verwirbelung z.T. auch auf die Wasseroberfläche.

c) Flüssigkeit mit einer Dichte > 1kg/l:

Lediglich im Bereich von seitlichen Leckagen oder solchen im Bodenbereich wird es zu Flüssigkeitsfreisetzungen kommen. Austretendes Medium wird durch nachdrückendes Wasser bis zur Höhe des Lecks ersetzt. Bei einem Leck im Bodenbereich wird die gesamte Behältermenge austreten. Strömungstechnisch ist dies entsprechend den unterschiedlichen Dichten und den geodätischen Drücken entsprechend dem Medium im Behälter und dem Wasserdruck außerhalb des Behälters zu erfassen. Dies wäre physikalisch individuell, bezogen auf den jeweiligen Fall, zu ermitteln. Eine allgemein gültige Formel ist nicht verfügbar. Ansätze für eine Ermittlung ergeben sich aus den Berechnungsmethoden zur Flüssig-Flüssig-Extraktion.

d) Freisetzung von unter Druck verflüssigten Gasen ($C_3$/$C_4$-Kohlenwasserstoffe, z.B. Propan oder Butan) mit einer Flüssigkeitsdichte < 1kg/l:

Beim Leckaustritt des Flüssiggases bildet sich eine Gasphase aus (Zweiphasenströmung infolge Druckabfalls im Leck; z.B. max. ca. 25% Strömungsmassendampfgehalt bei Propan). Darüber hinaus kommt es zu einer Verdampfung eines Anteils der Leckmenge infolge des Wärmeinhaltes des Flüssiggases selbst und einer Wärmezuführung aus dem Wasser (Wassertemp. > Siedetemp. des Mediums). Dies ist individuell nach den Gesetzen der Thermodynamik zu berechnen.

Die austretende bzw. entstehende Gasmenge als auch die verbleibende Flüssigphase erhalten einen Auftrieb entsprechend dem Volumen des verdrängten Wassers und bilden einen Gefährdungsbereich durch den Gasaustritt und das weitere Verdampfen der brennbaren und/oder toxischen Stoffe an der Wasseroberfläche im Bereich der überfluteten Anlage. Die Temperatur des an der Wasseroberfläche schwimmenden Flüssiggases sinkt dabei auf Siedetemperatur << 0°C ab. Es bildet sich auf der darunter liegenden Wasserfläche eine Eisschicht aus, welche in ihren Ausmaßen von der Strömung bzw. Turbulenz des Wassers abhängt.

e) Freisetzung von unter Druck verflüssigten Gasen (z.B. $Cl_2$) mit einer Flüssigkeitsdichte > 1 kg/l:

Die Verhältnisse einer Verdampfung liegen ähnlich wie im Fall d). Allerdings wird durch den Überdruck die verbleibende Flüssigphase im Wasser absinken und das Medium die Siedetemperatur < 0°C erreichen. Das

Austrittsverhalten hängt von der Leckposition ab. Die Gase werden an die Wasseroberfläche gelangen.

f) Freisetzung von tiefkalten Flüssigkeiten (z.B. Propylen bei -50°C) mit einer Dichte < 1 kg/l:

Bei einem Leck unterhalb der Wasseroberfläche im seitlichen oder oberen Bereich würde die Flüssigkeit austreten, wobei es im näheren Bereich zu einer Vereisung käme und andererseits die Flüssigkeit aufgrund der Wärmezufuhr aus dem Wasser zu verdampfen beginnen würde. Die austretende verbleibende Flüssigkeit würde auf der Wasseroberfläche verbleiben, das Gas als Schwergas an der Wasseroberfläche vorliegen. Eine weitere Verdampfung erfolgte dann auf der Oberfläche mit einer Vereisung des darunter liegenden Wassers.

g) Freisetzung von tiefkalten Flüssigkeiten (z.B. $Cl_2$ bei -37°C) mit einer Dichte > 1 kg/l

Bei einem Leck unterhalb der Wasseroberfläche im seitlichen oder unteren Bereich würde die Flüssigkeit austreten, wobei im näheren Bereich eine Vereisung aufträte und es zu einer beginnenden Verdampfung der Flüssigkeit durch die Wärmezufuhr des Wassers käme. Die austretende verbleibende Flüssigkeit würde auf den Grund absinken und dort langsam verdampfen. Die Gasphase würde an der Wasseroberfläche als Schwergas vorliegen.

Für alle Leckvorgänge, wie sie zuvor beschrieben wurden, sind, wie umfangreiche Recherchen der Berichterstatter ergeben haben, keine umfassenden direkt auf die einzelnen Freisetzungsvorgänge anzuwendenden Berechnungsmethoden vorhanden. (Nähere Ausführungen hierzu unter Kap. 11.)

### 7.6.3 Methoden zur Abschätzung der Folgen einer Freisetzung

Eine Freisetzung kann je nach Anlage sowohl gasförmig, dampfförmig, flüssig oder in fester Stoffform erfolgen. Folglich sind auch verschiedene Ausbreitungsmodelle in Bezug auf die freigesetzten Stoffe anzuwenden. Zur Systematisierung der nach-

folgenden Ausführungen sind in **Abbildung 7.6.3.1** die verschiedenen Ausbreitungspfade am Beispiel einer Leckage an einem Behälter schematisch dargestellt.

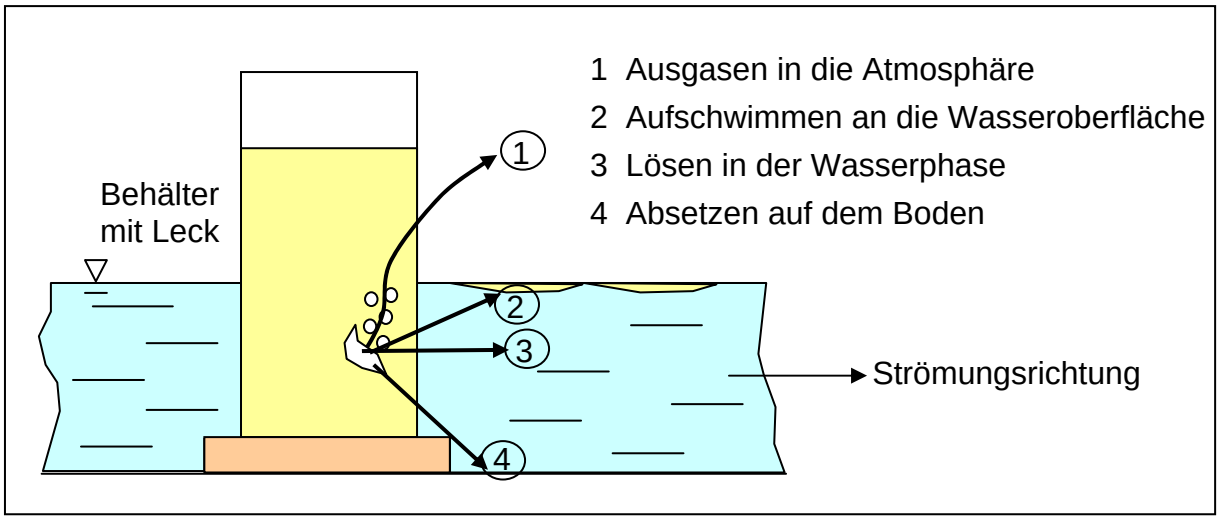



**Abbildung 7.6.3.1**: Ausbreitungspfade einer Stofffreisetzung bei einem Leck unterhalb des Wasserspiegels

### 7.6.3.1 Ausbreitungsrechung für Schadstoffe auf dem Luftpfad

Die Ausbreitungsrechnungen für den Luftpfad werden im Rahmen der Ausarbeitungen von Sicherheitsberichten sowie der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung für Betriebsbereiche, die den erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung unterliegen, grundsätzlich für die vorliegenden potenziell gefährlichsten Stoffe durchgeführt. Für Anlagen, welche den Grundpflichten unterliegen, besteht eine solche Forderung nicht.

- Ausbreitungsrechnung für gasförmige Stoffe

  Für gasförmige Stoffe wird neben einer Anzahl verschiedenster Modelle am häufigsten und standardmäßig die Ausbreitungsrechnung nach der VDI Richtlinie 3783, Blatt 1 und 2 nach Manier verwendet [VDI 3783]. Hierbei werden 3 verschiedene Wetterklassen (stabil, indifferent, labil), mit einer Inversionsschichtung (austauscharme Luftschichtung) bei stabiler Lage als ungünstigstem Fall, sowie verschiedene wählbare Windgeschwindigkeiten $\geq$ 1 m/s bis n m/s (stets Mitwindrichtung) und Parameter für die Umgebungsstruktur (Topographie, Bebauung etc.) in den Berechnungen berücksichtigt. Die Berechnung nach VDI 3783 erfolgt i.d.R. über ein EDV-Programm des

VDI. Mit der Eingabe verschiedener Parameter, wie z.B. Stoffdaten, Quellhöhe, Emissionsdauer usw., werden folgende Daten ermittelt:

- untere Zünddistanz (Enfernungsradien eines explosiblen Gas-/Luftgemisches in Bezug auf die untere Explosionsgrenze (UEG / in m)
- Ausbreitungsentfernung eines Schwergases (sogenannter Kopplungspunkt in m)
- Konzentrationsverlauf des Schadstoffes über die Zeit am gewählten Aufpunkt (mg/m³ über n sec)
- höchste Konzentration am Aufpunkt (mg/m³)
- Dosis am Aufpunkt (mg * s/m³)

Eine Auswirkungsbetrachtung nach dem Modell der VDI Richtlinie 3783 ist in Deutschland allgemein anerkannt und entspricht dem Stand der Technik. Neben der VDI Richtlinie sind noch eine Reihe weiterer Modelle (z.B. DEGADES) in Gebrauch, welche im Rahmen dieses Berichtes jedoch nicht näher untersucht werden.

Mit dem Rechenmodell der VDI-Richtlinie 3783 (Blatt 1 und 2) wird die Ausbreitung von sogenannten leichten, dichteneutralen sowie schweren Gasen berechnet. Schwergase über Wasseroberflächen werden dabei gleichermaßen erfasst. Die Ermittlung der Freisetzung von im Wasser gelösten Gasen ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Bei der Ausbreitungsrechnung für Stäube bis 100 μm wird die VDI-Richtlinie 3783 analog herangezogen.

Für den erforderlichen Fall einer schnellen Abschätzung der Folgen einer Freisetzung von gefährlichen Stoffen ist jedoch entsprechend dem Stand der Technik die Verwendung von Nomogrammen vorzusehen (**Abbildungen 7.6.3.1.1 und 7.6.3.1.2**). Solche Nomogramme [Ballast, 2004] erlauben – unabhängig von den Schadensursachen – eine schnelle Abschätzung darüber, bis in welche Entfernungen von der Austrittsstelle mit Gefahren oder Schäden zu rechnen ist. Die Nomogramme helfen nicht nur, formale Pflichten zu erfüllen, sondern können darüber hinaus

- ein Hilfsmittel für die Festlegung von adäquaten Sicherheitseinrichtungen sein
- der Katastrophenschutzplanung als Grundlage dienen
- bei Störungen den Einsatzkräften im Einsatzfall schnell und ohne technischen Aufwand hilfreiche Informationen zu geben.

Solche Nomogramme dienen auch der Bewertung bei störungsbedingten Freisetzungen toxisch wirkender Stoffe. Mit den Nomogrammen kann stoffspezifisch für beliebige Freisetzungsmengen und verschiedene atmosphärische Ausbreitungsbedingungen ermittelt werden, bis in welche Entfernungen noch Immissionbelastungen oberhalb eines spezifischen Immissions-Beurteilungswertes (z.B. AEGL, ERPG) auftreten können.

Die atmosphärische Ausbreitung wurde für die Nomogramme mit dem Modell der VDI-Richtlinie 3783 berechnet. Bei flüssig austretenen Stoffen kann mit der linken Nomogrammhälfte in einem vorgelagerten Schritt zuerst die gasförmig emittierte Menge in Abhängigkeit von der flüssig ausgetretenen Menge ermittelt werden. Die Kurven der linken Nomogrammhälfte basieren auf Verdunstungsrechnungen mit einem Ansatz von Mackay und Matsugu [Mackay u. Matsugu, 1973] und wurden unter Berücksichtigung der Wärme- und Massenbilanz für die Flüssigkeitslache berechnet.

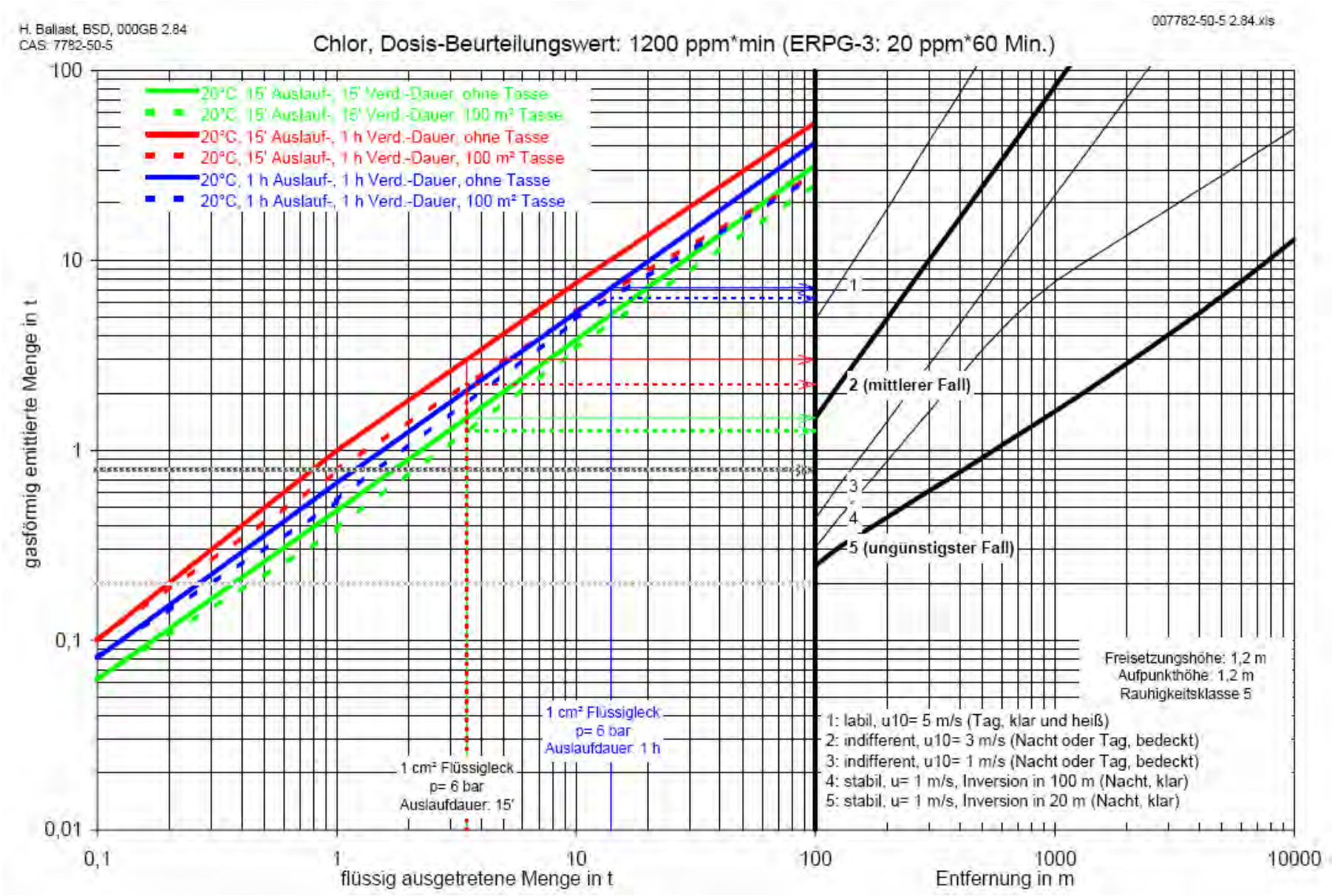



**Abbildung 7.6.3.1.1**: Nomogramm zur Ausbreitungsermittlung

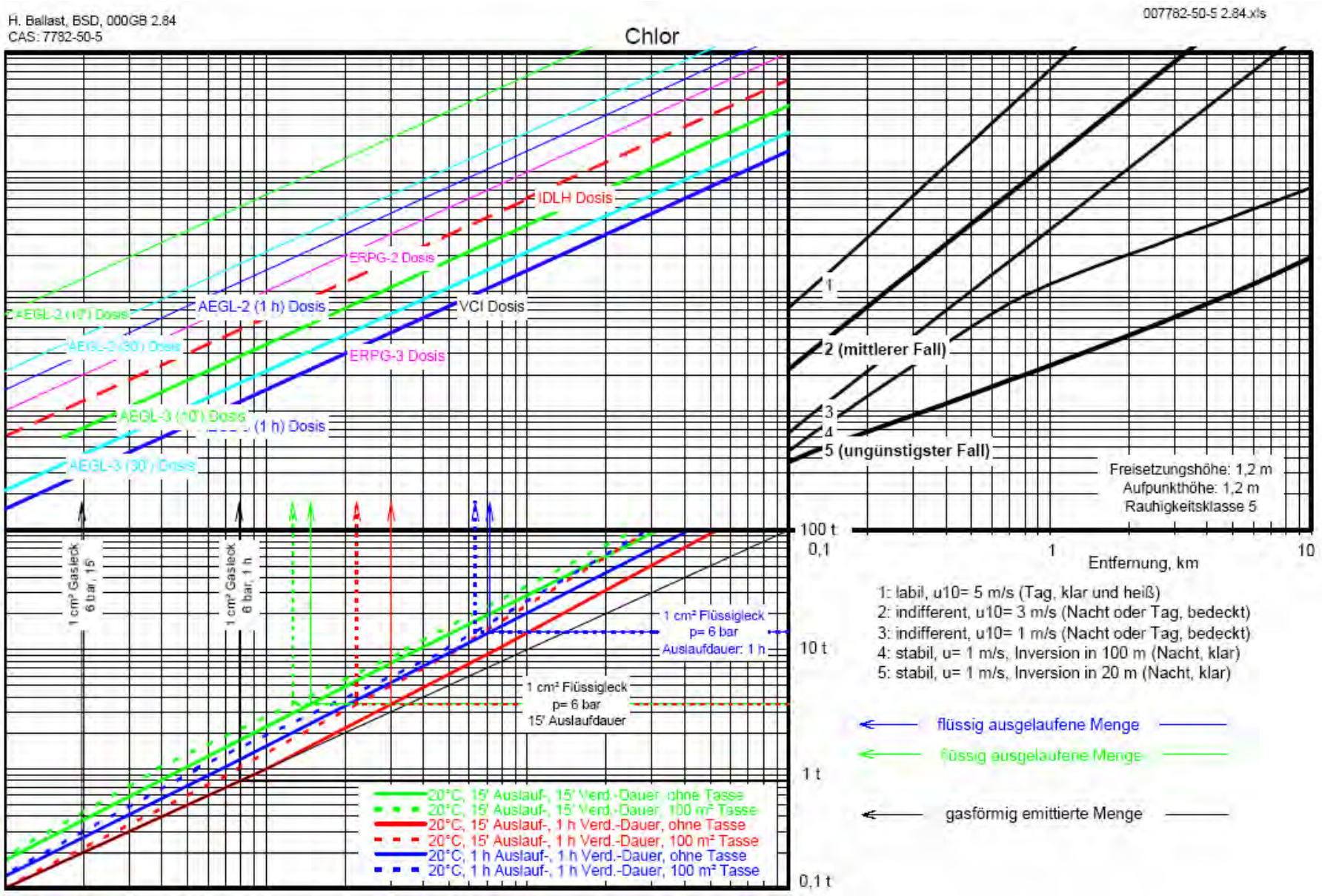



**Abbildung 7.6.3.1.2**: Nomogramm zur Ausbreitungsermittlung

- Ausbreitung von Stoffen unter Berücksichtigung einer Reaktion mit der Feuchtigkeit der Luft

  In Bezug auf eine Umsetzung von bestimmten Stoffen mit der Feuchtigkeit in Luft sind weitere Betrachtungen erforderlich. Das nach der VDI-Richtlinie 3783 anzuwendende Rechenprogramm berücksichtigt keine chemische Umsetzung, z. B. infolge zu unterstellender Luftfeuchtigkeit. Die Rechnungen werden daher mit einem Reinstoff vorgenommen. Bei verschiedenen Stoffen, wie z.B. Säureanhydriden (Beispiel $SO_3$) oder Phophortrichlorid ($PCl_3$) ist jedoch eine chemische Umsetzung durch die Luftfeuchtigkeit zu Säure, z.B. Schwefelsäure oder Salzsäure von Bedeutung, da hierdurch auch ein schnelles Absinken dieser Medien auf Gewässerflächen zu deren Verunreinigungen beitragen kann.

  Den sich bildenden Säurenebeln sind nun andere Eigenschaften hinsichtlich ihres Ausbreitungsverhaltens, wie im Modell nach VDI 3783 dargelegt, zuzusprechen. Da bei einer Auswirkungsbetrachtung aufgrund von starken hygroskopischen Eigenschaften die Säuren der bestimmende Stoff in Bezug auf eine Aerosolbildung sind, sollten Ausbreitungsbetrachtungen auch mit chemischer Umwandlung vorgenommen werden.

  Entsprechend einer mittleren Teilchengröße von zunächst $5 \times 10^{-7}$ m nach der Freisetzung und später dann von $12 \times 10^{-7}$ m werden sich die entstehenden Aerosole mit zunehmender Geschwindigkeit entsprechend den Stokes´schen Cunninghams´schen Gesetzen niederschlagen. Für eine realistische Ausbreitungsbetrachtung ist daher die Kenntnis von Umsetzungsmechanismus und -rate von ausschlaggebender Bedeutung.

  Reaktionskinetische Untersuchungen [Goodeve et.al. 1934] bei Raumtemperatur nach einer herkömmlichen Strömungsmethode ergaben, dass die Reaktion in der Regel sehr rasch und fast stöchiometrisch erfolgt. In Anbetracht der Tatsache, dass die Reaktion als nahezu stoßkontrolliert beschrieben werden kann und temperaturabhängige Messungen zur Bestimmung der Aktivierungsparameter nicht vorliegen, ist es nicht unvernünftig die Reaktionsgeschwindigkeit (und ihre Temperaturabhängigkeit) über einen Stoßzahlenansatz zugänglich zu machen.

  Führt man nun entsprechende Berechnungen bezüglich der Umsetzungsraten durch, dann stellt man fest, dass die die Umsetzungsrate limitierende Rand-

bedingung sich in der zur Verfügung stehenden $H_2O$-Konzentration manifestiert.

Die Reaktionsbedingungen gestatten also keine Betrachtung pseudo erster Ordnung (z.B. nach VDI-Richtlinie 3782 Nr. 8.2); geschwindigkeitsbestimmend ist die Heranführung des Wasserdampfes der Luft. Die Umsetzung wird also dann vollständig abgeschlossen sein, wenn sich das freigesetzte Gas auf ein Volumen ausdehnt, in dem die entsprechende stöchiometrische Menge Wasser enthalten ist. Hierbei sind die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und der Luftdruck zu berücksichtigen, wobei auf Standardwerte zurückgegriffen werden kann.

Im Rahmen von Ausbreitungsrechnungen ist zu ermitteln, welche Immissionskonzentrationen an festgelegten Aufpunkten auftreten können. Daher ist es wichtig, die Umsetzungsrate hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Immissionskonzentrationen möglichst genau abzuschätzen.

Die Umsetzung zu Säure-Aerosolen führt zu erhöhten Immissionskonzentrationen speziell an näher gelegenen Aufpunkten. Im Hinblick auf die bekannten und gut untersuchten Eigenschaften von Säurenebeln kann eine derartige Berechnung bei geringen Freisetzungsraten für Teilchendurchmesser $< 5 \times 10^{-6}$ m und Windgeschwindigkeiten größer 0,5 m/s vernachlässigbar sein. Diese Betrachtungsweise ist konservativ im Hinblick auf die zu erwartenden Immissionen an zu betrachtenden Aufpunkten und entspricht den Festlegungen der TA-Luft bzw. der VDI-Richtlinie 3782.

Nach einer Verdünnung auf 1 % geht die VDI-Richtlinie 3783 von einem den dichteneutralen Gasen entsprechendem Ausbreitungsverhalten aus. Dies ist bei Aerosolen nicht der Fall. Die vertikale Verdünnung durch windbedingte Ausdehnung ist hier eingeschränkt.

Die weitere Ausbreitung wird sich stärker auf den bodennahen Bereich oder auch Gewässerbereich beschränken als nach Blatt 1 zu erwarten ist. Dieser Effekt kann allerdings näherungsweise auch durch Einführen einer Inversionsschichtung (Sperrschicht in Höhe von 20 - 40 m) angemessen berücksichtigt werden (VDI 3783).

Die Ausbreitungsrechnung nach Blatt 1 geht von vollständigen Reflexionen an den horizontalen Grenzen (Boden- bzw. Inversionsschicht) aus und berück-

sichtigt dies durch die Einführung virtueller Quellterme an den Schichtgrenzen. Eine vollständige Reflexion darf aber nicht angenommen werden.

Trifft ein Säuretröpfchen auf eine Wasseroberfläche, so wird es im Wasser verbleiben.

### 7.6.3.2 Verdampfungs- und Verdunstungsvorgänge von freigesetzten flüssigen Medien in Luft

- Flashverdampfung

Bei der Freisetzung von unter Druck verflüssigten Medien ist es von Bedeutung, die sogenannte Flashverdampfungsrate und damit die verbleibende flüssige Freisetzungsrate, welche auf den Boden oder in ein Gewässer gelangt, festzustellen. Die verdampfende Masse $m_v$ (Flashverdampfung) lässt sich wie folgt berechnen:

$$m_v = \frac{Q \cdot f}{\Delta h_v} = \frac{m \cdot c_{pf} \cdot (T_0 - T_s) \cdot f}{\Delta h_v}$$

mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $m_v$ | = | Flashverdampfungsmasse | [kg] |
| Q | = | Wärmeinhalt der Flüssigkeit | [J] |
| $c_{pf}$ | = | spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeit | [J/kg K] |
| $T_0$ | = | Anfangstemperatur | [K] |
| $T_S$ | = | Siedetemperatur bei Normaldruck | [K] |
| $\Delta$hv | = | spezifische Verdampfungsenthalpie | [J/kg] |
| $f$ | = | Faktor 1,5 durch Wärmezufuhr bei der Lufteinmischung aus empirischen Ermittlungen | [BASF, 1977] |

Die bei einer Leckage von unter Druck verflüssigtem Gas nicht sofort verdampfte Menge kühlt sich beim Flashvorgang auf den Siedepunkt << 0°C ab und verbleibt als Flüssigkeitslache durch Wärmeentzug beim Flash auf dem Boden bzw. der Wasseroberfläche.

- Poolverdampfung aus einer Lache am Boden

Das Temperaturgefälle von Bodentemperatur zur Lachentemperatur und der auf die Benetzungsfläche bezogene Wärmeübergang als auch die Wärmezufuhr aus der Luft und durch Sonneneinstrahlung sind für den Verdampfungsvorgang maßgebend. Grundlage einer Berechnungsmethode ist die Erstellung einer Wärmebilanz. Die Verdampfungsraten können unter Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit der Lachengröße iterativ bestimmt werden, wofür verschiedene Rechenmodelle zur Verfügung stehen [Lebuser u. Schecker, 1986].

Die Verdampfung auf einer benetzten Bodenoberfläche wird zu Beginn aufgrund eines noch wärmeren Untergrundes stärker von statten gehen, jedoch ist die Gesamtrate aufgrund einer zu Beginn dieses Vorganges kleineren Benetzungsoberfläche geringer. Mit größer werdender Benetzungsfläche nimmt die Pool-Verdampfungsrate zu, während die Flash-Verdampfungsrate entsprechend der abnehmenden Leckrate über den Austrittszeitraum abnimmt.

Auf der Basis empirischer Ermittlungen ergeben sich nach Burgess et al. mittlere Verdampfungsgeschwindigkeiten z.B. für tiefkalt verflüssigtes Erdgas (LNG) von 0,5 mm/min. Versuche von Lehrer (u.a. mit FCKWs und LNG) ergaben Verdampfungsraten von 2,3 g/m²·s bis 3,8 g/m²·s [DGMK, 1981]. Dies entspricht Verdampfungsgeschwindigkeiten von 0,34 mm/min bzw. 0,55 mm/min. Von Burgess wird daher folgender Rechnungsansatz für die Verdampfungsgeschwindigkeit vorgeschlagen [DGMK, 1981]:

$$V = \frac{K}{\rho \cdot L} \cdot \frac{T_1 - T_0}{(\pi \cdot \kappa \cdot t)^{1/2}}$$

mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V$ | = | Verdampfungsgeschwindigkeit | [cm/s] |
| $K$ | = | Wärmeleitfähigkeit des Bodens | [J / cm/s K] |
| $\kappa$ | = | thermische Diffusivität des Bodens (Temperaturleitzahl) | [cm²/s] |
| $L$ | = | spezifische Verdampfungswärme Flüssiggas | [J / kg] |
| $T_1$-$T_0$ | = | Temperaturdifferenz Boden - Flüssiggas-Siedetemperatur | [K] |
| $\rho$ | = | Flüssiggas-Flüssigkeitsdichte | [g/cm³] |
| $t$ | = | Zeit nach Bildung der Lache | [s] |

- Verdampfung auf Wasseroberflächen

  Bei einer plötzlichen Lachenbildung wird sich bei kontinuierlicher Verdampfung das kalte flüssige Gas auf der Wasseroberfläche ausbreiten. Die Ausbreitung erfolgt solange, bis sich eine minimale Schichtdicke bei einem maximalen Pooldurchmesser ergibt. Infolge der Verdampfung wird die Poolfläche kontinuierlich kleiner. Ab einem bestimmten Zeitpunkt ist die Oberflächenspannung des Flüssiggases nicht mehr in der Lage eine kontinuierliche Schicht aufrecht zu erhalten, so dass die Flüssiggasschicht auseinander driftet.

- Nach Shaw und Briscoe ist für eine tiefkalte Flüssigkeit (z.B. ein Flüssiggas) der Wärmestrom in die Lache proportional der Differenz zwischen der umgebenden Wassertemperatur und dem Siedepunkt der Flüssigkeit [Shaw u. Briscoe, 1980; UBA, 2000].

  Gleichung für die Wärmestromdichte:

$$q'' \cong 600 \cdot (T_a - T_b)$$

  mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| q“ | = | Wärmestromdichte in die Lache | [W/m²] |
| $T_a$ | = | Umgebungstemperatur | [K] |
| $T_b$ | = | Siedetemperatur bei 1,013 bar | [K] |

  Für die Verdampfungsrate gilt folgende Berechnungsgleichung:

$$\dot{m}'' = q'' / \Delta h_v = 600 / dhv \cdot (T_a - T_b)$$

  mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\dot{m}$ “ | = | Verdampfungsrate | [kg/ m²·s] |
| $\Delta$hv | = | spezifische Verdampfungsenthalpie | [J/kg] |

- Im offenen Wasser würde nach Opschoor praktisch keine Eisbildung stattfinden [DGMK, 1981]. Im Grenzschichtenbereich trete ein Sieden ein. Während der Lachenbildung würde die Temperaturdifferenz zwischen einem Flüssiggas und Wasser praktisch konstant bleiben. Im Wasser findet ein konvektiver Wärmetransport statt. Die von Opschoor berechnete Verdampfungsrate von

$$\dot{m} = 0{,}045 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

auf offenem Wasser stimmt recht gut mit der nach Colenbrander ermittelten LNG-Verdampfungsrate von 0,05 kg/m²s überein, d.h. die Verdampfung ist zeitunabhängig [Colenbrander 1980].

Von Opschoor wird für die sich einstellende minimale Schichtdicke auf Wasser eine Dicke von 0,17 cm genannt. Nach Opschoor betragen (zum Vergleich ist LNG aufgeführt):

a) Die maximale Verdampfungszeit $t_e$ [s] für eine LNG-Schicht:

$$t_e = 0{,}67 \cdot \left[ \frac{\rho_e{}^2 \cdot \rho_w \cdot V_i}{\Delta\rho \cdot g \cdot \dot{m}^2} \right]^{1/4} \quad \textit{für} \quad LNG : t_e = 40 \cdot V_i^{1/4}$$

b) Der maximale Pool-Radius $R_e$ [m]:

$$R_e = 1{,}02 \cdot \left[ \frac{\Delta\rho \cdot \rho_e{}^2 \cdot g \cdot Vi^3}{\rho_W \cdot \dot{m}^2} \right]^{1/8} \quad \textit{für} \quad LNG : R_e = 12{,}2 \cdot V_i^{3/8}$$

c) Die Verdampfungsrate:

$$\dot{m} = \left[ \frac{(2 \cdot \rho_W \cdot h_E + \rho_E \cdot c_{p_E} \cdot \Delta T_E) \cdot K_E \cdot \Delta T_E}{4 \cdot h_V{}^2 \cdot t} \right]^{1/2} \quad \textit{für} \quad LNG : \dot{m} = 0{,}52 \cdot t^{-1/2}$$

mit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\dot{m}$ | = | zeitunabhängige Verdampfungsrate von Flüssiggas auf offenem Wasser | $\left[ \frac{kg}{m^2 \cdot s} \right]$ |
| $\rho_e$ | = | Dichte Flüssiggas | $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ |
| $\rho_W$ | = | Dichte Wasser | $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ |
| $\rho_E$ | = | Dichte Eis | $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\Delta\rho$ | = | Dichtedifferenz von Wasser / Flüssiggas | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ |
| $V_i$ | = | Flüssiggasanfangsvolumen | [m³] |
| g | = | Erdbeschleunigung | $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ |
| $c_{PE}$ | = | spezifische Wärmekapazität Methan | $\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$ |
| hv | = | spezifischeVerdampfungsenthalpie Methan | $\left[\frac{J}{kg}\right]$ |
| t | = | Verampfungszeit | [s] |
| $K_E$ | = | Wärmeleitfähigkeit Eis | $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$ |
| $\Delta T_E$ | = | Temperaturdifferenz zwischen Eis und LNG-Interface | [K] |

Einschränkend ist zu vermerken, dass es hinsichtlich einer Eisbildung in der Grenzschicht zwischen Flüssiggas und Wasser z.Zt. keine eindeutigen Erkenntnisse gibt. Die vorherrschende Meinung bzgl. der Grenzschicht ist, dass sich zu Beginn eines Verdampfungsvorganges eine Eisschicht bildet, die jedoch im Laufe einer stattfindenden erhöhten Verdampfung in eine Siedeschicht übergeht.

- Verdunstung von Flüssigkeiten mit kleineren bis mittleren Dampfdrücken

Bei freigesetzten Flüssigkeiten mit kleineren bis mittleren Dampfdrücken ist es bedeutsam, die Verdunstungsmenge zur Atmosphäre zu ermitteln. Für die Abschätzung des Verdunstungsmassenstromes einer Flüssigkeit auf einer Bodenfläche in $\dot{m}_{ver}$ [kg/s] kann folgende Modellgleichung [Mackay u. Matsugu, 1973] verwendet werden:

$$\dot{m}_{ver} = -0{,}024 \cdot \frac{u_a^{0,78} \cdot M_{Mol} \cdot A_{La}}{R_{La}^{0,11} \cdot (273{,}15 + \vartheta_{La})} \cdot \ln\left(1 - \frac{p_v}{1{,}01325}\right)$$

mit:

| | | |
|---|---|---|
| $\vartheta_{La}$ | [°C] | Temperatur der Flüssigkeit an der Lachenoberfläche |
| $A_{La}$ | [m²] | Lachenfläche |
| $M_{Mol}$ | [g/mol] | Molmasse der Flüssigkeit |
| $u_a$ | [m/s] | Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über der Lache |

| | | |
|---|---|---|
| $p_v$ | [bar] | Dampfdruck bei $\vartheta_{La}$ |
| $R_{La}$ | [m] | Lachenradius |

Bei Flüssigkeiten, die auf eine Wasseroberfläche gelangen, eine geringere Dichte als Wasser besitzen und nur schwer wasserlöslich sind, werden analoge Verdunstungsraten zu erwarten sein. Auf der Basis der empirischen Ermittlungen von O.G. Sutton [DECHEMA, 1986] lassen sich mit Hilfe des 2. Fick´schen Gesetzes in etwa entsprechende Verdunstungsraten abschätzen.

Entsprechend den Verdunstungsraten verbleiben die Fremdstoffe in wesentlichen Anteilen zeitlich solange auf der Wasseroberfläche, bis alle Stoffe zur Atmosphäre gelangt sind. Dieser Zeitrahmen läßt sich mit Hilfe der v.g. Modellrechnung in etwa ermitteln. Bei fließenden Gewässern werden die eingeleiteten Stoffe entsprechend der Fließgeschwindigkeit abdriften und sich hierbei flächenmäßig ausdehnen. Hierdurch würde die Verdunstungszeit reduziert. Dieser Vorgang ist jedoch von der Gewässerkonfiguration abhängig und rechnerisch nicht zu erfassen.

- Weitere Auswirkungsbetrachtungen

Neben den vorgenannten Betrachtungen sind auch die Ermittlungen zu sonstigen nachteiligen Auswirkungen bei einem unterstellten Störfallereignis durch den Einfluss einer Hochwassergefährdung von Bedeutung wie:

- Brandberechnung mit Wärmestrahlung
- Explosionsberechnung mit Druckwellenausbreitung

Zur Berechnung liegen eine Reihe von anerkannten Modellen vor; beispielhaft können hierzu folgende Programme herangezogen werden:

- TNT nach Warren zur Explosionsberechnung und Druckwellenausbreitung [Warren, 1996]
- Explosionsberechnung und Druckwellenausbreitung [Wiekema, 1980]
- TNO – Modell zur Explosionsberechnung und Druckwellenausbreitung [TNO, 1997]
- Tankexplosion nach dem Modell Baker [Baker, 1975/1978]
- Wärmestrahlungsberechnung [Seeger, 1974] (Zylinderstrahlenmodell)

### 7.6.3.3 Ausbreitungsrechung für gelöste Schadstoffe auf dem Wasserpfad

Nach dem Brandunfall 1986 im Chemiewerk Sandoz, Basel, bei dem große Mengen mit Chemikalien verunreinigten Löschwassers in den Rhein flossen, haben im Auftrag der 8. Rheinministerkonferenz die IKSR und die internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) 1990 gemeinsam das Alarmmodell für den Rhein entwickelt. Das Alarmmodell wird von Alarmstellen am Rhein bei der Vorhersage der Stoffausbreitung einer störfallbedingten Wasserverunreinigung eingesetzt. Wasserwerke und Wasserbehörden verwenden das Rhein-Alarmmodell bei der Anordnung der von ihnen zu treffenden Maßnahmen wie die Einstellung der Rohwasserentnahme.

Im Rhein-Alarmmodell ist der Rhein vom Bodensee bis zu der Nordsee modelliert, ebenso die Nebenflüsse Aare, Neckar, Main und Mosel. Das Alarmmodell für den Rhein berechnet für eingegebene Stellen die Konzentration als Funktion der Zeit sowie den Zeitpunkt und den Umfang der maximalen Konzentration im Fluss. Bei Bedarf wird ein Bild des Verlaufs der Verunreinigungswelle von der Quelle bis zur Nordsee präsentiert. Bei dem Modell handelt es sich um ein eindimensionales stationäres Stofftransportmodell für lösliche Stoffe, das den Einfluss von sogenannten Stillwasserzonen sowie Buhnenfelder berücksichtigt.

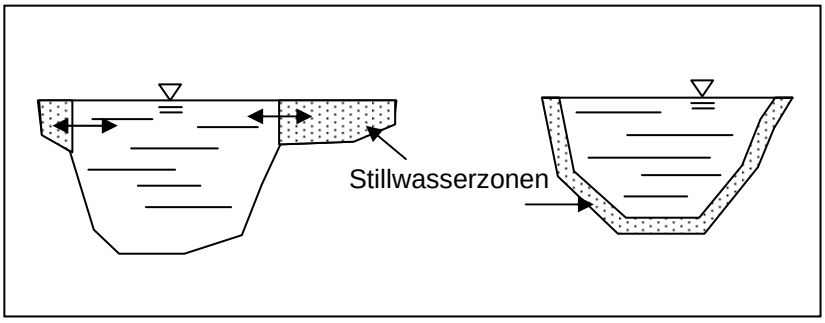



**Abbildung 7.6.3.3.1**: Stillwasserzonen im Gewässerquerschnitt

Entsprechend den unterschiedlichen Morphologien des Rheins und seiner Nebenflüsse werden die Gewässer in Abschnitte aufgeteilt, wobei in den einzelnen Abschnitten jeweils von stationären Ablussverhältnissen ausgegangen wird. Ein Abschnitt ist dann als Teil des Flusses in Längsrichtung definiert, wenn der Abfluss $Q_i$ (i = Index für den jeweiligen Abschnitt) als konstant vorausgesetzt werden kann. Darüber hinaus wurden die Abschnitte so gewählt, dass die pro Abschnitt vorhandenen Wasserstandsmessstellen mit ihrer zugehörigen Wasserstands-Abfluss-Beziehung repräsentative Abflüsse für diesen Abschnitt liefern. An den Abschnitts-

grenzen kann sich der Abfluss infolge einer Wasserzuführung durch einen Nebenfluss sprunghaft ändern.

In einem Teilabschnitt ist die Fließgeschwindigkeit $u_i$ als konstant definiert. Die mittlere Fließgeschwindigkeit wird als die Beziehung zwischen dem Abfluss $Q_i$ und dem für diesen Teilabschnitt als maßgebend zu betrachtenden Querschnitt $A_i$ bestimmt:

(1) $$u_i = Q_i/A_i$$

Sind die Länge $L_i$ eines Teilabschnittes und die Fließgeschwindigkeit gegeben, so lässt sich für jeden Abfluss eine Fließzeit $T_i = L_i/u_i$ berechnen. Da pro Abschnitt bzw. Teilabschnitt der Abfluss über die Wasserstands-Abfluss-Beziehung der jeweiligen Wasserstandsmessstelle ermittelt wird, verwendet das Alarmmodell Version 2.1 Wasserstands-Fließzeit-Tabellen, um die Transportzeiten zu berechnen. In der neueren Windows-Version kann die Fließgeschwindigkeit $u_i$ und somit die Fließzeit aus Wasserstands-Querschnitts-Tabellen ermittelt werden. Mit diesem Verfahren können in gestauten Strecken, wie z.B. bei der Mosel, wo es keine eindeutigen Beziehungen zwischen Wasserstand und Abfluss gibt, die Fließzeiten eindeutig bestimmt werden.

Das Stofftransportmodell für den Rhein mit seinen Nebenflüssen basiert auf einer analytischen Taylor-Lösung, die im Laufe der Jahre überarbeitet bzw. präzisiert wurde. Die Konzentration $\varphi_E$ eines löslichen Stoffes berechnet sich in Abhängigkeit der Weglänge L und der Zeit t nach folgender Gleichung [v. Mazijk, A., 1999]:

(2) $$\varphi_E(L,t) = \frac{M/Q}{\sqrt{4\cdot\pi\cdot D_0\cdot t/c^2}}\cdot\exp\left[-\frac{(t-L/c)^2}{4\cdot D_0\cdot t/c}\right]\cdot\left[1+\frac{G_t}{6}\cdot H_3(z)\right]$$

Hierin sind:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M$ | = | Masse des ausgetretenen Stoffes | (kg) |
| $Q$ | = | Durchflussmenge | ($m^3/s$) |
| $t$ | = | Zeit | (s) |
| $L$ | = | Distanz zwischen Einleitungsstelle und Beobachtungs- oder Berechnungspunkt | (m) |
| $D_o$ | = | longitudinaler Dispersionskoeffizient | ($m^2/s$) |
| $c$ | = | mittlere Stofftransportgeschwindigkeit | (m/s) |
| $G_t$ | = | Schiefekoeffizient | (-) |
| $H_3(z)$ | = | $z^3 - 3z$, wobei für den Parameter z gilt: | |

$$z = \frac{t - L/c}{\sqrt{2 \cdot D_0 \cdot t / c^2}}$$

Die Parameter *c* und $D_o$ berechnen sich wie folgt:

(3) $$c = \frac{u_S}{1 + \beta}$$

(4) $$D_0 = \alpha \cdot \frac{u_S^2 \cdot B_S^2}{a \cdot u_*}$$

mit

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $u_s$ | = | mittlere Fließgeschwindigkeit im stromführenden Teil des Flussquerschnittes | | (m/s) |
| $B_s$ | = | Breite des Stromstiches | | (m) |
| a | = | mittlere Wassertiefe | | (m) |
| $u_*$ | = | Schubspannungsgeschwindigkeit | | (m/s) |

Der Schiefekoeffizient passt den nach dem Taylor-Modell errechneten Konzentrationsverlauf den tatsächlich beobachteten Konzentrationverlauf an. Die beobachteten Konzentrationsverläufe zeigen meist einen schiefen Verlauf mit einer steilen Front und einem verhältnismäßig langen Auslauf (**Abbildung 7.6.3.3.2**).

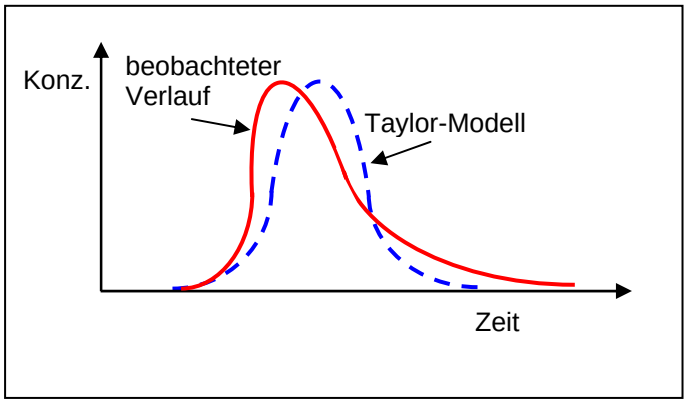



**Abbildung 7.6.3.3.2**: Unterschied zwischen beobachteten Konzentrationsverlauf und einem Verlauf nach dem Taylor-Modell

Diese Schiefe wird besonders dem Stoffaustausch zwischen der stromführenden und der mehr oder weniger stillstehenden Zone des Flussquerschnittes zugeschrieben.

Das Taylor-Modell geht dagegen von einem symmetrischen Verlauf aus. Mit Ausnahme von $\alpha$ und $\beta$ sind alle Parameter für die einzelnen Flussabschnitte bekannt. Beide Parameter wurden aus Tracer-Versuchen für die einzelnen Flussabschnitte experimentell ermittelt.

**Abbildung 7.6.3.3.3**: Einleitung eines Tracers

**Abbildung 7.6.3.3.4**: Ausbreitung des Tracers

Auf Basis der Gleichung 2, der bekannten Daten der einzelnen Flussabschnitte sowie den Tracermessungen können die Stofflaufzeiten mit einer Genauigkeit von ca. 98 %, Konzentrationsberechnungen mit einer Genauigkeit von ca. 95 % vorhergesagt werden. Gute Vorhersagen bei starker Wasserverunreinigung sind, wie oben schon dargestellt, von großer Bedeutung für die Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat.

Das Rhein-Alarmmodell wurde für gelöste Stoffe bei Normalwasserstand entwickelt. Die Stofflaufzeiten und Konzentrationsverläufe basieren auf einer eindimensionalen Betrachtung in Flussrichtung. Dispersionseffekte quer zur Fließrichtung werden nicht

berücksichtigt. Im Hochwasserfall werden große Vorlandflächen überflutet, die einen großen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse haben. Die Komplexität dieser hydrologischen Verhältnisse können, wie unter Kapitel 5.2 beschrieben wurde, bislang nur lokal mit Hilfe zweidimensionaler Modelle näherungsweise erfasst werden.

Die Entwicklung eines Modells zur Berechnung von Stofflaufzeiten und Konzentrationsverläufen in Verbindung mit einem zweidimensionalen Modell zur Simulierung der Strömungsverhältnisse im Hochwasserfall liegt nicht vor und ist bislang auch nicht vorgesehen. Darüber hinaus setzt das Rhein-Alarmodell stationäre Verhältnisse voraus (dQ/dt = 0), was gerade bei einem Hochwasserereignis nicht angenommen werden kann.

Für die Elbe wurde zwischenzeitlich das Alarmmodell Elbe (ALAMO) entwickelt, das sich bezüglich der mathematischen Modellierung von dem Rhein-Alarmmodell unterscheidet [BfG, 2004]. Grundlage dieser Simulation ist ein erweitertes Taylormodell, das ebenso auf dem sogenannten Stillwasserzonenmodell basiert. Das eindimensionale Gleichungssystem gewährleistet eine ausreichend genaue Beschreibung der Transportvorgänge in der staugeregelten Oberelbe und in der frei fließenden, weitgehend durch Buhnen verbauten Mittelelbe. Das eindimensionale Stillwasserzonenmodell wird durch die folgenden Differentialgleichungen beschrieben:

(1) $$\frac{dc}{dt} = -v\frac{dc}{dx} + D_L \frac{d^2c}{dx^2} - \varepsilon D_s (c - s) - k_1 c$$

(2) $$\frac{dc}{dt} = D_s (c - s) - k_1 s$$

mit

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $c$ | = | Konzentration im Hauptstom | (µg/l) |
| $v$ | = | mittlere Fließgeschwindigkeit | (m/s) |
| $D_L$ | = | Längsdispersionskoeffizient | ($m^2$/s) |
| $D_S$ | = | Stillwasserzonenkoeffizient | (1/s) |
| $s$ | = | Konzentration in der Stillwasserzone | (µg/l) |
| $\varepsilon$ | = | Stillwasserzonenanteil | (-) |
| $k_1$ | = | stoffspezifische, lineare Abbaukonstante | (1/s) |

Als Stillwasserzonen im Sinne des Modellansatzes gelten alle nicht abflusswirksamen Querschnittsbereiche. Im Fall der Elbe sind dies z.B. die Buhnenfelder bei nicht

überströmten Buhnen. Die Terme des Stillwasserzonenmodells beschreiben die folgenden Teilaspekte:

$-v\frac{dc}{dx}$ die Translation des Stoffes mit der mittleren Fließgeschwindigkeit $v$

$+D_L\frac{d^2c}{dx^2}$ den dispersiven Stofftransport in Flusslängsrichtung. Er wird im Wesentlichen hervorgerufen durch die ungleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung im Fließquerschnitt bzw. durch die Turbulenz der Wandreibung.

$-\varepsilon D_s(c-s)$ den Konzentrationsaustausch zwischen dem abflusswirksamen Hauptstrom und den nicht abflusswirksamen Stillwasserzonen. Solange die Konzentration im Hauptstrom größer ist als die Konzentration der Stillwasserzonen, wird der Stoff in die Stillwasserzonen eingetragen; sinkt die Konzentration im Hauptstrom unter die Konzentration der Stillwasserzonen, wird der Stoff wieder in den Hauptstrom zurücktransportiert.

$-k_1 c$ den linearen Abbau des Stoffes. Sowohl die absolute Größe von $k_1$ als auch die Annahme eines linearen Abbaus ist stoffspezifisch. Für die Beschreibung des Transports eines Stoffes ist der Abbau nicht von Bedeutung.

Eingabedaten des Alarmmodells sind die hydrologischen und hydraulischen Größen der Elbe bei verschiedenen Durchflussereignissen. Daher wurde zunächst ein hydraulisch-numerisches Modell für den Bereich von Němčice/CZ bis zur Wehranlage Geesthacht/D entwickelt. Dies entspricht einer Fließlänge von rd. 835 km. Aus der Anforderung an geringe Rechenzeiten sowie an eine einfache Handhabung des Modells wurde der Rauheitsansatz nach Manning-Strickler als Berechnungsgrundlage gewählt. Die Spiegellinienberechnung erfolgte für den eingeschränkten Fall der eindimensionalen, stationär-ungleichförmigen und verzweigungsfreien Gerinneströmung. Die abschnittsweise Berechnung erlaubt auch für den instationären Fall eine hinreichend genaue Bestimmung der Fließzeiten. Mit den Ergebnissen des hydraulischen Modells kann erstmals eine durchgängige Berechnung der Fließgeschwindigkeiten und Fließzeiten für einen Abflussbereich zwischen MNQ und MHQ für die 835 km lange Fließstrecke der Elbe erfolgen. Die auf Grundlage der berechneten Geschwindigkeiten ermittelten Fließzeiten betragen für den Fließweg zwischen

Němčice/CZ und Geesthacht/D für MNQ, MQ und MHQ rd. 790 h, 331 h bzw. 146 h [Ettner et.al., 2002].

Das vorgestellte Elbe-Alarmmodell ist im Vergleich zum Rhein-Alarmmodell schon weiter entwickelt und schließt sogar den instationären Fall ein. Es ist jedoch nur für den Bereich von einem mittleren Niedrigwasserdurchfluss bis zu einem mittleren Hochwasserdurchfluss gültig und umfasst somit nicht den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens betrachteten Fall eines Extremhochwasserereignisses.

Für die Nebenflüsse der Elbe, wie z.B. die Mulde wurde bislang kein Alarmmodell entwickelt. Dies gilt auch für die Osterzgebirgsflüsse.

Insgesamt ist somit festzustellen, dass eine Ausbreitungsrechnung für freigesetzte Schadstoffe im Extremhochwasserfall bislang nicht möglich ist. Es gibt derzeit kein ausreichend genaues Rechenmodell, dass analog der Ausbreitung über den Luftpfad anwendbar wäre. Darüber hinaus ist zwischen den lokalen Verhältnissen an der Einleitungsstelle und den Verhältnissen nach vollständiger Durchmischung quer zur Strömungsrichtung zu unterscheiden. Die **Abbildung 7.6.3.3.5** verdeutlicht die Fahnenbildung einer Einleitung in Strömungsrichtung.

**Abbildung 7.6.3.3.5**:
Industrielle Abwassereinleitung nahe Flussmitte (Luftbild ca. 1960)

Der Fließweg L bis zum Ort, wo die Stofffahne den Flussquerschnitt vertikal voll durchmischt hat, ist proportional zur Wassertiefe a und beträgt bei starker Rauheit [Fischer, H.B. et al., 1979, Rutherford, J.C., 1994]:

$$L_{mv} = 50\ a$$

Der Fließweg $L_{mh}$ bis zum Ort, wo die Stofffahne den Flussquerschnitt in horizontaler Richtung voll durchmischt hat, ist abhängig von der Breite $B_s$ und beträgt für Flüsse

mit moderater Variabilität, also ohne starke Krümmungen und ohne seitliche Totwasserzonen:

$$L_{mh} = 7\,(B_s/h)B_s$$

Die Vermischung ist also nur von der Breite und der Tiefe eines Gewässers abhängig und nicht von der Fließgeschwindigkeit und der Flussmorphologie [Bleninger, T. et al., 2004]. Selbst wenn die Annahme einer nur geringen Variabilität in der Realität nur lokal gegeben ist, vermittelt die Gleichung dennoch einen Eindruck über die Länge der Mischzone. Eine Einleitung in den Rhein in der Höhe von Karlsruhe erreicht erst nach 145 km eine Durchmischung über die gesamte Flussbreite. Dies bedeutet, dass es im Bereich der Mischzone zu deutlich unterschiedlichen Konzentrationen eines Stoffes quer zur Strömungsrichtung kommen kann. Entsprechend unterschiedlich ist auch ein mögliches Gefährdungspotenzial, z.B. für die Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat.

Ein weiteres Modell zum Stofftransport und Ausbreitung in Fließgewässern wurde vom UBA im Forschungsbericht 297 48 428 „Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszenarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift“ [Kaiser, Rogazewski u. Schindler, 2000] veröffentlicht. Hierbei wird angenommen, dass sich ein bestimmter Massenstrom $m_{Ein}$ über eine Zeitdauer $t_e$ in ein Fließgewässer ergießt. Die Abschätzung der Konzentration in einer Entfernung x flussabwärts erfolgt dabei durch einen Berechnungsansatz, der die Kenntnis folgender Parameter voraussetzt:

| | | |
|---|---|---|
| Massenstrom an Gefahrstoff: | $m_{Ein}$ | (kg/s) |
| Zeitdauer der Freisetzung: | $t_e$ | (s) |
| Wasserführung am Einleitungsort: | $V_{Was}$ | ($m^3$/s) |
| Hydrolytische Halbwertszeit: | $t_H$ | (h) |
| Mittlere Fließgeschwindigkeit: | $u_F$ | (m/s) |
| Entfernung flussabwärts: | $x_{Was}$ | (km) |
| Vervielfachung der Wasserführung bis | $x_{Was}$: | ($\eta$) |

Es wird unterstellt, dass vom Ort der Einleitung an flussabwärts die Gefahrstoffkonzentration abnehmen wird, weil immer mehr Wasser eingemischt wird. Die Konzentration an der Einleitstelle bei vollständiger Vermischung wird dabei wie folgt abgeschätzt:

$$C_{Was0} = 1000 \cdot \frac{\dot{m}_{Ein}}{\dot{V}_{Was}} \qquad \text{(mg/l)}$$

Im weiteren Verlauf des Fließgewässers wird sich die Konzentration allmählich verringern. Mit dem zurückgelegten Weg $x_{was}$ bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit $u_F$ ergibt sich die Zeit $t_x$ wie folgt:

$$t_x = \frac{x_{Was}}{3{,}6 \cdot u_F} \qquad \text{(h)}$$

Für die Abnahme der Konzentration wird folgende e-Funktion angesetzt:

$$C(t) = C_{Was0} \cdot e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{t_H}} \qquad \text{(h)}$$

Bei Berücksichtigung einer Änderung um den Faktor n am gewählten Aufpunkt ermittelt sich eine Konzentration am Ort $x_{was}$ von:

$$C_{xWas} = 1000 \cdot \frac{\dot{m}_{Ein}}{\eta \cdot \dot{V}_{Was}} \cdot e^{-\ln 2 \cdot \frac{t_x}{t_H}} \qquad \text{(mg/m³)}$$

In der Folge wird nach diesem Modell ein sich verschleifender Zeitverlauf als Normalverteilung $t_{xwas}$ betrachtet

$$C(t) \cong C_{xWas} \cdot e^{-\frac{(t-t_{xWas})^2}{2\cdot\sigma^2}}$$

und nach folgender Formel ermittelt:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\cdot\sigma^2}} dx = \sqrt{2\pi} \cdot \sigma = 1$$

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$$

Der verschliffene Impuls wird näherungsweise gleich $5 \bullet \sigma$ angesetzt und die Dauer erhöhter Konzentration abgeschätzt zu:

$$t_C \cong \frac{5}{\sqrt{2\pi}} \cdot t_e \cong 2 \cdot t_e$$

Die hier vorgestellte Ansatz berücksichtigt nicht die spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Gewässers. Dies gilt z.B. für den Einfluss von Buhnen und Vorlandflächen sowie Staustufen, Seitenkanälen und sonstige spezifischen Gewässereigenschaften. Die zuvor vorgestellten Berechnungen für den Rhein und die Elbe berücksichtigen diese Flusscharakteristiken, wie zuvor dargestellt wurde, auf der Grundlage von Tracermesssungen.

Alle vorliegenden Modelle können somit den hier betrachteten Fall der Stofffreisetzung auf dem Wasserpfad bei einem Hochwasserereignis nur sehr ungenau beschreiben. Für einen Betreiber ergibt sich daher zur Zeit keine Möglichkeit einer genauen Ermittlung von Schadstoffausbreitungen in Gewässern. Eine effektive Ermittlung einer Ausbreitung auf und in fließenden Oberflächengewässern bei direktem Stoffeintrag (z.B. nach Anhang 6 Abs. 1.3 der BMU-Vollzugshilfe zur Umsetzung der StöffallV) kann daher nicht erfolgen. Hier ist nach Auffassung der Berichterstatter ein Forschungsbedarf erkennbar.

In stehende Oberflächengewässer eingebrachte Gefahrstoffe können dagegen zum Teil chemisch gebunden (Öl) oder biologisch abgebaut bzw. direkt durch z.B. Absetzung deponiert werden. Gut wasserlösliche Gefahrstoffe würden nach Verdünnung zu entsprechenden Konzentrationen im Wasser führen. Hierbei würde allerdings eine relativ langsame Stoffausbreitung bezogen auf die jeweilige Wassermenge erfolgen. Bei nicht wasserlöslichen Gefahrstoffen wird im ersten Zeitablauf nur die Wasseroberfläche kontaminiert. Entsprechend der vorhersehenden Windgeschwindigkeiten würden sie sich dann mehr oder weniger schnell auf der Wasseroberfläche ausbreiten. Hierbei können entsprechende Gegenmaßnahmen, wie Schlauchsperren etc. und Absaugungen wirksam sein.

#### 7.6.3.4 Ausbreitungsbetrachtung für feste Stoffe im Wasser

Beim Austreten von festen Stoffen, i.d.R. in Form kleinerer Partikel, wird es zu einer Sedimentation entsprechend der einzelnen Partikelgrößen kommen. Verfahrenstechnische Grundlagen hierüber können der Literatur , wie z.B. dem Ullmann, entnommen werden. Für fließende Gewässer liegen jedoch keine Berechnungsmethoden vor.

## 7.7 Bewertung der Wirkung von Freisetzungen

Grundsätzlich muss zwischen humantoxikologischen und ökotoxikologischen Risiken unterschieden werden. Bei der humantoxikologischen Bewertung ist darüber hinaus zwischen akuter toxischer und chronisch toxischer Wirkung bei Langzeitexposition zu unterscheiden. Bei der ökotoxikologischen Risikoabschätzung sind die verschiedenen Organismen zu berücksichtigen, die einer bestimmten Schadstoffkonzentration ausgesetzt werden.

### 7.7.1 Methodik zur Risikobewertung bei Schadstofffreisetzungen in die Atmosphäre

Es sind nach letzten und neuesten sich ständig erweiternden Erkenntnissen eine große Anzahl von Bewertungskriterien heran zu ziehen, wie z.B. die sogenannten AEGL- und ERPG-Werte. National und international hat sich eine verwirrende Vielfalt von ähnlichen Werten ergeben, die scheinbar in Konkurrenz zu den AEGL-Werten stehen. Tatsächlich handelt es sich jedoch meist entweder um

- Vorläuferwerte, die heute durch die aktuelleren und differenzierter abgeleiteten AEGL-Werte abzulösen sind; oder um

- parallele Werte, auf die so lange zurückgegriffen werden kann, bis AEGL-Werte etabliert sind (z.B. hat sich bei neueren ERPG-Werten eine gewisse Arbeitsteilung ergeben, dass nur solche neuen ERPG-Werte entwickelt werden, für die keine AEGL-Werte in Planung sind. Ähnlich versteht sich das TEEL-Konzept ausdrücklich als Ansatz zur schnellen und nur vorläufigen Festlegung von Werten, die an anderer Stelle genauer abzuleiten und zu begründen sind).

Einige ähnliche Werte sind zur besseren Orientierung zu charakterisieren:

- IDLH (Immediately Dangerous to Life und Health)
- ERPG (Emergency Response Planning Guidelines)
- TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits)
- ARE (Acute Reference Exposure)
- Störfallbeurteilungswerte
- Einsatztoleranzwerte

Es ist grundsätzlich davon abzuraten, für eine Störfallbeurteilung etwa Arbeitsplatzgrenzwerte oder Bruchteile hiervon bzw. Bruchteile von Letalkonzentrationen aus Tierversuchen ohne differenziertere Diskussion zu wählen. Eine Ausführlichkeit und Transparenz der Begründung ist bei der Einordung der jeweiligen Werte einzubeziehen. AEGL-Wert-Dokumente enthalten i.d.R. kurze Vergleiche zu bereits vorliegenden ähnlichen Werten.

- AEGL-Werte (Acute Exposure Guideline Levels)

  Die AEGL-Werte sind sogenannte Störfall-Konzentrationsleitwerte, die in den USA ab 1993 mit ständiger Erweiterung festgelegt und von der Kommission für Anlagensicherheit (vorm. Störfall-Kommission) in Deutschland zur Anwendung empfohlen wurden. AEGL-Werte sind toxikologisch begründete Spitzenkonzentrationswerte

  - für verschiedene relevante Expositionszeiträume (10 Min. bis 8 Std.)
  - für 3 verschiedene Effekt-Schweregrade
  - AEGL-1: Schwelle zum spürbaren Unwohlsein
  - AEGL-2: Schwelle zu schwerwiegenden, lang andauernden oder fluchtbehindernden Wirkungen
  - AEGL-3: Schwelle zur tödlichen Wirkung

  Die AEGL-Werte repräsentieren Expositionshöchstgrenzen für die allgemeine Bevölkerung und sind für verschiedene Expositionszeiten (5 oder 10 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 4 Stunden und 8 Stunden) festgelegt.

- Weitere Werte zur Toxikologischen Beurteilung

  Neben den v.g. Beurteilungswerten gibt es noch eine große Anzahl von toxikologischen Beurteilungswerten, welche der einschlägigen Literatur zu entnehmen sind. Hier wird insbesondere auf die Veröffentlichung im Handbuch für den Störfallbeauftragten verwiesen [Warm, 2002]

### 7.7.2 Methodik zur Risikobewertung von Schadstofffreisetzungen in Gewässer

Kernstück der meisten ökotoxikologischen Bewertungen ist die Bestimmung der erwarteten Schadstoffkonzentrationen im Gewässer (Predicted Environmental

Concentration: PEC) und der Konzentration, bei der keine Wirkungen in der Umwelt (Predicted No Effect Concentration: PNEC) auftreten soll [Leeuwen und Hermens, 1996, Knacker u. Mückter, 2005]. Die Ermittlung der PEC erfolgt ausschließlich über Expositionsmodelle, wobei die Feststellung der Substanzmenge, die in die Umwelt freigesetzt werden kann, und die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Substanzen die wichtigsten Eingangsgrößen in das jeweilige Modell sind. Die Ermittlung der PNEC erfolgt in der Regel über Messungen der Wirkung der Substanz auf die Mortalität, das Wachstum oder die Reproduktion einzelner Spezies im Laborexperiment. Mit Hilfe sogenannter „Sicherheitsfaktoren“ werden die gemessenen Wirksubstanzen auf die Konzentration extrapoliert, bei der keine Wirkungen im Ökosystem auftreten sollen. Die quantitative Risikobewertung erfolgt durch die Bildung des Quotienten PEC/PNEC. Werte von < 1 weisen darauf hin, dass durch die vorgesehene Anwendung der Substanz „keine Bedenken“ für die Umwelt entstehen. Damit ist die Risikobewertung (Environmental Risk Assessment, ERA) abgeschlossen. Werte von $\geq$ 1 zeigen ein Risiko für die Umwelt an, das durch die Anwendung realitätsnäherer Untersuchungsmethoden und erneutem PEC/PNEC-Vergleich überprüft werden kann (verfeinerte Umweltrisikobewertung). Vorausgesetzt, dass für die Organismen der Kompartimente Wasser, Sediment, Boden und Luft eine Exposition zu erwarten ist, erfolgt für jedes dieser Kompartimente unabhängig voneinander eine Risikobewertung.

# 8 Sturm und Erdbeben als Gefahrenquellen für Betriebsbereiche

Die Grundlagen der Einwirkungsseite der Gefährdungspotenziale von Tragkonstruktionen infolge von Sturm und Erdbeben im Geltungsbereich der Störfall-Verordnung werden nach dem aktuellen Stand der Bautechnik in den Vorschriften DIN 1055-4 (03/2005) und DIN 4149 (04/2005) festgelegt. Beide Normen gelten für alle baulichen Anlagen im gesamten Rechtsgebiet der Bundesrepublik Deutschland; sie besitzen den Charakter von Rechtsverordnungen, wenn sie von den einzelnen Bundesländern rechtskräftig eingeführt worden sind. Sie sind in den vergangenen 35 Jahren durch empirische Forschungen in Normenausschüssen und in Abstimmung mit den europäischen Nachbarn über die Euro-Codes erarbeitet worden.

Wegen der langen Überarbeitungsdauer von Baunormen darf man davon ausgehen, dass kaum eine der bestehenden Anlagen nach den beiden vorgenannten Normen und der grundlegenden Sicherheitsnorm DIN 1055-100 (03/2001) ausgelegt ist, siehe Abschnitte 8.2.1, 8.3.1 und 8.6. Somit sind mit Einführung der neuen Normengeneration im Anwendungsbereich der StörfallV mit Wahrscheinlichkeit Nachrüstungsmaßnahmen erforderlich.

Nach den Definitionen der Landesbauordnungen sind bauliche Anlagen alle mit dem Erdboden (Grundstück) verbundenen, aus Bauprodukten erstellten Anlagen und Anlagenteile. Bauordnungen gelten stets, allerdings nicht für Anlagen des öffentlichen Verkehrs, für Leistungen der öffentlichen Versorgung und für der Bergaufsicht unterliegende Produktionsanlagen. Entkleidet man eine bauliche Anlage aller nichtlastabtragenden Komponenten, so gewinnt man deren Tragwerk, Tragkonstruktion oder Tragstruktur, den Bezug der DIN 1055-4 und 4149.

Das BImSchG versteht dagegen unter Anlagen Betriebsstätten, Maschinen, Geräte, ortsfeste und ortsveränderliche technische Einrichtungen sowie Grundstücke mit Stofflagerungen, von denen schädliche Umwelteinflüsse als Gefahren, Nachteile oder Belästigungen der Allgemeinheit ausgehen.

Der Begriff „bauliche Anlage“ bezieht sich auf Anlagen bzw. Anlagenkomponenten von Betriebsbereichen, Anlagen und deren Komponenten nach § 19g WHG sowie auf Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen. D.h., eine verfahrenstechnische Anlage der genannten Bereiche besteht im Sinne dieser Abhandlung i.d.R. auch immer aus einer oder mehreren baulichen Anlagen. Im Folgenden wurde einfachheitshalber der Begriff „Anlage“ gewählt.

Beide oben genannten Normen behandeln Gefährdungspotenziale und Abwehrmaßnahmen. Sie werden in den folgenden Abschnitten 8.2 und 8.3 so behandelt, dass die einwirkende Gefährdung für alle Tragkonstruktionen (des Bauwesens) erkennbar wird. Da in beiden Normen Grundkenntnisse und Grundbegriffe der Tragwerksdynamik vorausgesetzt werden, ist als Abschnitt 8.1 eine diesbezügliche Kurzeinführung vorgeschaltet worden. Unter 8.5 werden erste Resumés hinsichtlich möglicher Defizitquellen der beiden Normen bei Anwendung auf Anlagen in Betriebsbereichen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, gezogen. Im Abschnitt 8.4 wird eine erste Bewertung der bisher gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere im Hinblick auf die Modellregion (Linde AG in Stollberg), dargelegt.

Um Sicherheitsdefizite herauszuarbeiten, sind zunächst Tragwerksrisiken und deren Sicherheiten zu bestimmen. Zur anschließenden Festlegung von Maßnahmen zum Defizitausgleich oder zur Sicherheitsanhebung sind Tragwerkseinwirkungen stets dem Widerstand der Tragstruktur gegenüber zu stellen. Deshalb erfolgt eine Darlegung der Grundlagen dieser baulichen Gefahrenabwehr und Tragwerkssicherheitskonzepte, schwerpunktmäßig für die Gefahrenpotenziale Sturm und Erdbeben, im Abschnitt 8.6.

Abschnitt 8.7 beinhaltet eine Darlegung von erkannten Defiziten der baulichen Gefahrenabwehr im Hinblick auf Sturm- und Erdbebengefährdung von Anlagen in Betriebsbereichen nach der StörfallV. Diese Defizite liegen sowohl im administrativen Bereich als auch in der technischen Problemstellung begründet. Sie lassen sich in Teilen auf dem Verordnungsweg lösen, teilweise durch bessere Aufklärung der Anlagenbetreiber und teilweise durch erhebliche Intensivierung technischer Anwendungsforschung.

Schadensereignisse in technischen Anlagen mit Beteiligung von Sturm- und Erdbebengefährdungen sind Realisationen von Kombinationsrisiken. Dies bedeutet, dass bei den Elementarrisiken eine Initiierungsfunktion zukommt, die dann oftmals weitere Schäden auslösen (Brände, Explosionen, Gefahrstoffaustritte usw.). Derartige Kombinationsereignisse werden in ihrer Bedeutung zumeist unterschätzt, da ihr Auftreten als äußerst selten gilt und statistische Erhebungen fast immer fehlen.

Vom Standpunkt der Gefahrenabwehr muss vor derartigen verharmlosenden Denkkategorien nach Auffassung der Berichterstatter nachdrücklich gewarnt werden. Viele technische Systeme (Produktionsanlagen, Versorgungssysteme, Verkehrsanlagen, Tragwerke) geraten nämlich bei Akutwerdung von Zusatzrisiken schnell an die Grenzen ihrer Belastbarkeit, weshalb der zusätzliche Eintritt seltener Ereignisse fast

immer zu Domino-Effekten führt. Ein Beispiel ist der große „Blackout“ im Nordosten der USA im Herbst 2003: Der störungsbedingte Ausfall eines überlasteten Kraftwerks führte zum kaskadenartigen Abschalten weiterer Kraftwerke im Versorgungsnetz und damit schließlich zur Stilllegung der gesamten technischen Infrastruktur. Beleuchtung, Telekommunikation, Krankenversorgung, Wasserversorgung, der öffentliche und private Verkehr (Benzinversorgung, Ampelsteuerungen) brachen zusammen, und über 50 Millionen Menschen waren unvorbereitet in vortechnische Zeiten zurückversetzt. In kleinerem Maßstab ereignete sich Ähnliches im Juni 2005 in der Schweiz.

Derartige großräumige Katastrophen mit kleinsten Eintrittswahrscheinlichkeiten werden in der betrieblichen Sicherheitstechnik stets, in der baulichen Gefahrenabwehr (zu) oft ausgegrenzt, was zu schweren Fehleinschätzungen führen kann. Hier befinden sich weltweit grundlegende Änderungen der technischen Gefahrenabwehr in der wissenschaftlichen Diskussion. Entscheidend für die Bewertung derartiger Kombinationsrisiken sollte daher nicht nur die sehr niedrige Eintrittswahrscheinlichkeit sein, sondern das vorhersehbar entstehende Risiko als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotenzial.

## 8.1 Grundbegriffe der Tragwerksdynamik

In diesem Kapitel werden diejenigen Grundbegriffe der Tragwerksdynamik erläutert, die zum Verständnis der Gefährdungspotenziale aus Sturm und Erdbeben sowie der Konzepte zu ihrer baulichen Gefahrenabwehr erforderlich erscheinen. Ihre Aufzählung erfolgt lexikalisch. Zur detaillierteren Erläuterung wird auf die diesem Kapitel angefügte Literatur verwiesen, die vor allem die deutschsprachigen Grundlagenwerke zur Baudynamik enthält.

### 8.1.1 Tragwerksreaktionen

Strukturantwort

Die Tragwerksdynamik befasst sich mit Gewinnung, Darstellung und Bewertung zeitveränderlicher Tragwerksantworten. Deren Formen und Zeitverläufe sind abhängig von

- der Art der Tragwerkserregung sowie
- der Topologie (Abmessungen) und den verwendeten Materialien des Tragwerks.

Eine erste Klassifizierung von Tragwerksantworten liefern die drei Schwingungsverläufe aus [Krätzig et. al., 1995] in **Abbildung 8.1.1.1** Die einmalige (stoßartige) Impulsanregung (links), z.B. durch Fahrzeuganprall, führt zu einem harmonischen Ausschwingen der Struktur; andauernde gleichartige Erregungen (Mitte), z.B. durch laufende Maschinen, rufen periodische Antworten hervor; und regellose (stochastische) Anregungen (rechts), z.B. durch Sturm, Erdbeben oder Wellenschlag, bewirken ebensolche regellosen Tragwerksantworten. In den technischen Anwendungen der Tragwerksdynamik stehen periodische Antwortphänomene von (visko-) elastischen Tragwerken im Vordergrund des Interesses.

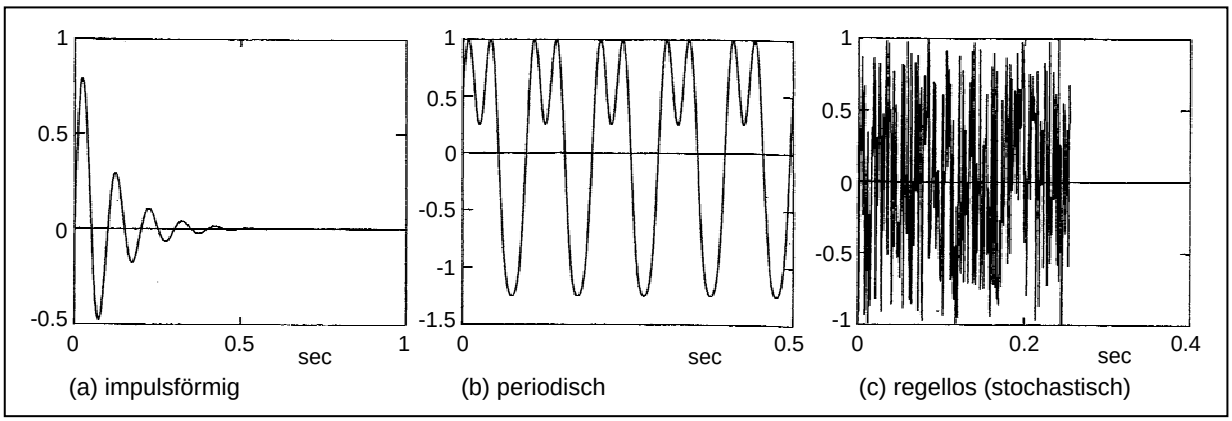



**Abbildung 8.1.1.1**: Verschiedene Tragwerksantworten

Tragwerkserregung

Zeitvariante Erregungen von Tragstrukturen der Technik sind von großer Vielfalt. Sie können natürlichen Ursprungs sein (Sturm, Erdbeben, Wellen- und Eisangriff) oder durch menschliche Aktivitäten (Maschinenerregung, Anprall, Explosionen) hervorgerufen werden. Ist der Zeitverlauf der Erregung zu jedem Zeitpunkt t bekannt, so bezeichnet man diese als deterministisch. Bei vielen natürlichen Erregungen sind jedoch nur gewisse statistische Eigenschaften der Erregungszeitverläufe feststellbar, z.B. Mittelwerte und Varianzen. Derartige Erregungen bezeichnet man als stochastisch oder zufällig (random). **Abbildung 8.1.1.2** gibt eine allgemeine Klassifizierung dynamischer Prozesse wieder, die auf Erregungen und Strukturantworten gleichermaßen anwendbar ist [Krätzig et. al., 1995].

Im konstruktiven Ingenieurbau und im Maschinenbau (ganz im Gegenteil zur Signaltheorie) werden dynamische Prozesse traditionell deterministisch behandelt. Sicherheitsnachweise basieren damit i.A. auf Zeitverläufen F(t) von Ein- und Auswirkung. Gerade bei Sturm- und Erdbebenwirkungen als Realisationen von natürlichen Prozessen spielt natürlich der statistische Charakter eine Hauptrolle, was die Behandlung als stochastische Prozesse nahe legt. Wenn dennoch in der (deutschen) Bautechnik deterministische Vorgehensweisen favoritisiert werden, ist dies auch als Tribut an üblicherweise vorhandene Ingenieurkenntnisse zu deuten. Weitere Details hierzu dürfen zunächst unerläutert bleiben [Chmielewski et.al., 1996].

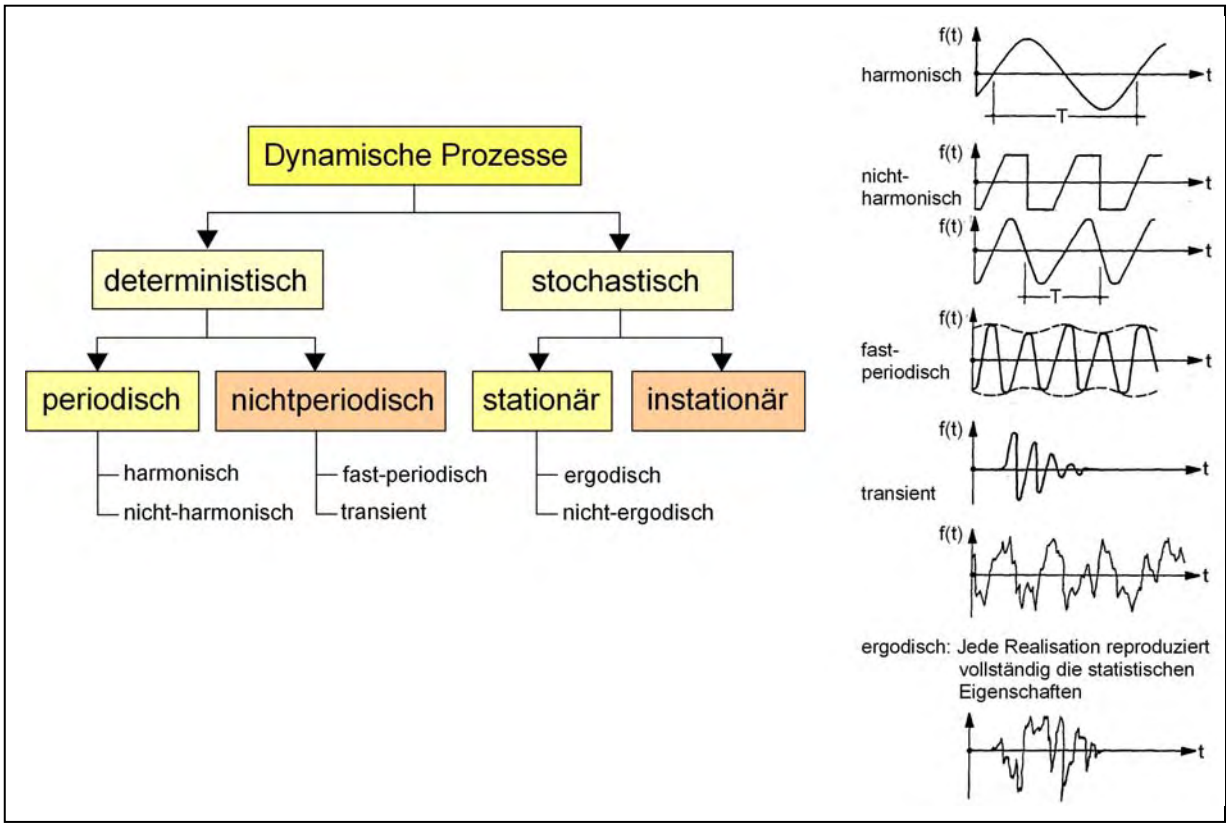



**Abbildung 8.1.1.2**: Klassifizierung dynamischer Prozesse

Bewegungsgleichung

Betrachtet man ein diskretes Tragwerksmodell mit n Freiheitsgraden, in der Tragwerksdynamik auch als n-Massenschwinger bezeichnet, so lautet dessen matrizielle Bewegungsgleichung unter Vorraussetzung linear elastischen Werkstoffverhaltens und infinitesimal kleiner Deformationen:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(t).$$

Hierin bezeichnet x den Vektor der Bewegungsfreiheitsgrade, M die globale Massenmatrix, C die Matrix der viskosen (geschwindigkeitsproportionalen) Dämpfung, K die globale Steifigkeitsmatrix und F den Erregungsvektor. t beschreibt die physikalische Zeit, und Punkte über den Zustandsvektoren stehen für materielle Zeitableitungen.

$x, \dot{x}, \ddot{x}$ und F(t) bilden bei Tragwerksidealisierungen mit n Freiheitsgraden n-dimensionale Vektoren, Lösungsverläufe werden in n-dimensionalen Räumen dargestellt. Werden die Symbole M, C, K und F als m, c, k und f durch kleingeschriebene Normalbuchstaben ersetzt, so behandeln wir Ein-Massenschwinger mit folgender Bewegungsgleichung:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$$

Schwingungsverläufe

Der Schwingungsverlauf eines Ein-Massenschwingers als Lösung der zugehörigen obigen Bewegungsgleichung lautet:

$$x = x(t) = x_0\, e^{s\,t} \quad \text{mit} \quad s_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}\,.$$

Hierin bezeichnet x = x(t) die zeitvariante Schwingungsamplitude, $x_0$ die Anfangsauslenkung zum Zeitpunkt t = 0 und c das Maß der viskosen Dämpfung [Chmielewski et.al.,1996; Eibl u. Häussler-Combe, 1997] in zu m und k physikalisch zugeordneten Einheiten. **Abbildung 8.1.1.3** veranschaulicht den typischen Schwingungsverlauf eines Tragwerkspunktes.

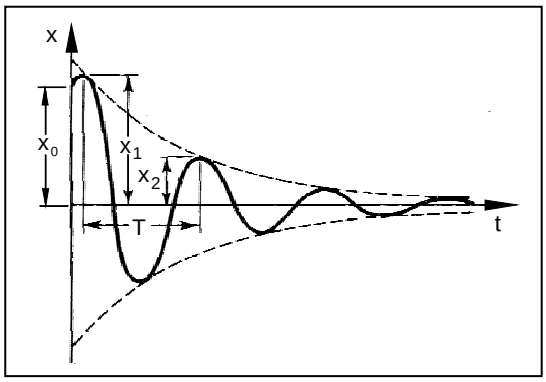



**Abbildung 8.1.1.3**: Schwingungsverlauf eines Ein-Massenschwingers

Tragwerkseigenfrequenzen

Ohne fortdauernde äußere Erregung und nach einmaliger Auslenkung $x_0$ schwingt jedes Tragwerk in ganz bestimmten modalen Schwingungsformen $\phi_i$, denen jeweils eine Schwingungseigenfrequenz $\omega_i$ zugeordnet ist. Reale Tragwerke ($n \Rightarrow \infty$) besitzen unendlich viele solcher Zuordnungen von Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen $\{(\omega_i, \phi_i), i = 1, 2, ...\infty\}$. Hiervon werden in Tragwerksuntersuchungen i.a. jedoch nur diejenigen Eigenpaare berücksichtigt, die den jeweiligen Anregungsformen und -frequenzen eng benachbart sind.

Frequenz und Kreisfrequenz

$\omega_i$ stellt eine sogenannte Kreiseigenfrequenz dar, ihre Maßeinheit ist Radian/Sekunde [rad $s^{-1}$]. In der Technik werden Schwingungen häufiger durch Frequenzen $f_i$ beurteilt; die Beziehung zwischen beiden lautet:

$$f_i = \omega_i / 2\pi.$$

Diese Frequenz $f_i$ besitzt die Maßeinheit [1/s], genannt Hz (Hertz). Gebräuchlich ist auch der Reziprokwert von $f_i$, die Periode $T_i$ der Eigenschwingung [s], die in **Abbildung 8.1.1.3** dargestellt ist:

$$T_i = 1 / f_i = 2\pi / \omega_i.$$

Schwingungs-Modalformen, Eigenschwingungsproblem

Als Schwingungsmodalformen $\phi_i$, i = 1, 2, ... $\infty$, bezeichnet man die Anzahl von unendlich vielen Verformungsfiguren eines Tragwerks, denen jeweils eine Eigenkreisfrequenz $\omega_i$ zugeordnet ist. Diese auch als Eigenformen bekannten charakteristischen Deformationen sind über das Eigenwertproblem

$$\{ K - \omega_i^2 M \} \phi_i = 0 \quad \text{mit} \quad \phi_i^T M \phi_j = \delta_{ij}$$

mit der Bewegungsgleichung verkoppelt. Hierin kürzen M die globale Masse und K die Gesamtsteifigkeit des Tragwerks ab, $\delta_{ij}$ das Kronecker Delta [Meskouris, 1999]. **Abbildung 8.1.1.4** zeigt die 3 ersten Eigenformen $\{\phi_1, \phi_2, \phi_3\}$ eines dreistöckigen Stahlbetonrahmens mit den zugehörigen Kreiseigenfrequenzen $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$. Der Übersichtlichkeit halber sind hierin die Verläufe zwischen den Stockwerken linear interpoliert.

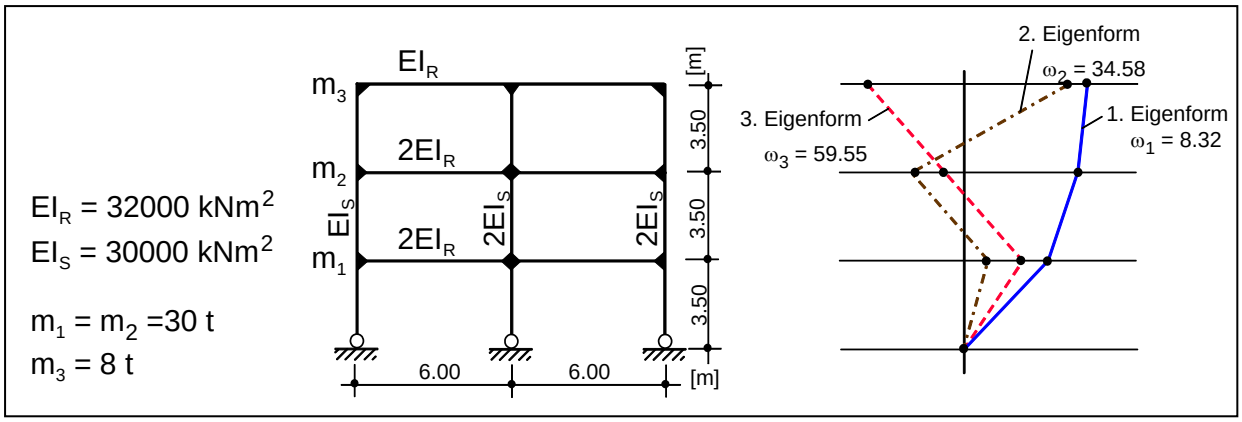



**Abbildung 8.1.1.4**: Eigenschwingungsformen eines Stahlbetonrahmens

Modale Masse und Steifigkeit

Die einzelnen Vektoren $\phi_i$ der Modalformen transformieren die globale Masse M und Steifigkeit K des Tragwerks mittels matrizieller Kongruenztransformationen in modale Massen $m_i$ und modale Steifigkeiten $k_i$, aus denen die jeweils zugeordneten Kreiseigenfrequenzen ermittelbar sind [Chmielewski et.al., 1996]:

$$\omega^2_i = \frac{k_i}{m_i} = \frac{\varphi_i K \varphi_i}{\varphi_i^T M \varphi_i}$$

Der Bruch in dieser Beziehung wird, insbesondere wenn sich der Index i auf die niedrigste Eigenfrequenz bezieht, allgemein als Rayleigh-Quotient bezeichnet. In der Strukturdynamik spielt er eine zentrale Rolle zur Tragwerksbeurteilung.

## 8.1.2 Dämpfung

Schwingungsverhalten

Im Abschnitt 8.1.1 wurde für den Einmassenschwinger

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + k\,x = f(t)$$

ohne äußere Erregung f(t) = 0 die allgemeine Lösung zu

$$x = x(t) = x_0\, e^{s\,t} \quad \text{mit} \quad s_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$$

angegeben. Sie beschreibt mit $s_1$ und $s_2$ zwei von $x_0$ ausgehende Lösungszweige. Eine wirkliche Tragwerksschwingung entsteht bei einer Anfangsauslenkung $x_0$ für ein komplexes Lösungspaar $s_{1,2}$, falls die Wurzel negativ wird und somit $s_{1,2}$ ein komplexes Zahlenpaar darstellt. Ist die Wurzel dagegen reell, so entstehen zwei reelle Exponenten $s_{1,2}$, die nur zwei exponentiell abklingende Lösungszweige, keine Schwingung, beschreiben können. Zwischen beiden liegt der Grenzfall der kritischen Dämpfung, in welchem die Wurzel gerade zu Null wird. Somit unterscheidet man in der Tragwerksdynamik im Hinblick auf die das Schwingungsverhalten steuernde Dämpfung folgende drei Fälle:

- kritisch gedämpftes System:

$$\left(\frac{c}{2m}\right)^2 = \frac{k}{m} = \omega^2 \Rightarrow c_{cr} = 2\,m\,\omega$$

mit $\omega$ als der Frequenz des vollständig ungedämpften Tragwerks c = 0.

- schwach gedämpftes System:

$$c < c_{cr} = 2\,m\,\omega.$$

Durch die Wahl der Dämpfung wird auch die Frequenz $\omega d$ der Schwingung geändert; diese lautet mit $\xi = c / c_{cr}$ :

$$\omega_d = \sqrt{1-\xi^2} \ .$$

- überdämpftes (stark gedämpftes) System: $c \geq c_{cr} = 2\ m\ \omega$.

In der Tragwerksdynamik werden Systeme mit unerwünschten Schwingungen häufig durch Schwingungsdämpfer [Clough u. Penzien, 1982; Petersen, 2001] soweit verstimmt, dass sich ihr Schwingungsverhalten demjenigen von überdämpften Systemen annähert. **Abbildung 8.1.2.1** gibt einen Überblick über diese Klassifikation.

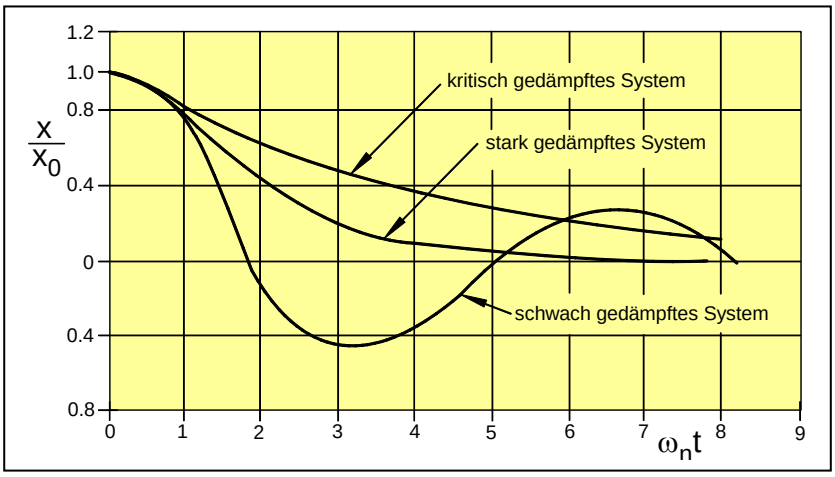



**Abbildung 8.1.2.1**: Schwach, kritisch und stark gedämpfte Schwingungen

Lehr'sches Dämpfungsmaß

Der soeben bereits eingeführte Quotient $\xi = c / c_{cr}$ wird in Deutschland auch als Lehr'sches Dämpfungsmaß bezeichnet, im Ausland i.a. als auf die kritische Dämpfung bezogene prozentuale Dämpfung. Die Verwendung von $\xi$ ist im Ingenieurwesen weit verbreitet, weil man mit $(1-\xi)$ unmittelbar einen sehr anschaulichen Abstand von der kritischen Dämpfung $c_{cr}$ erhält.

Logarithmisches dämpfungs-dekrement

Statt mit der viskosen Dämpfung c oder dem Lehr'schen Dämpfungsmaß $\xi$ wird in der messtechnischen Baudynamik gern mit dem logarithmischen Dämpfungsdekrement $\delta$ gearbeitet, welches das logarithmische Verhältnis zweier um eine Schwingungsperiode aufeinander folgender Schwingungsamplituden $x_k$ und $x_{k+1}$ darstellt [Meskouris , 1999]:

$$\delta = \ln (x_k / x_{k+1})$$

Für die im Bauwesen verbreiteten schwach gedämpften Systeme mit kleinen Dämpfungsmaßen stellt $\delta$ näherungsweise eine Konstante dar, die mit der Schwingungsperiode $\omega$ folgendermaßen verknüpft ist:

$$\delta = \pi \frac{c}{m} \; \omega = \pi \frac{c}{m} \sqrt{\frac{k}{m}} \, .$$

Die Umrechnung auf das Lehr'sche Dämpfungsmaß erfolgt mittels der Verknüpfung: $\delta \approx 2\pi \, \xi$ .

## 8.1.3 Nichtlineares dynamisches Tragverhalten

Bewegungsgleichung im Tangentialraum

Bisher wurden in allen wiedergegebenen Beziehungen linearelastisches Tragverhalten und infinitesimal kleine Verformungen unterstellt. Dies trifft für die Analyse von Sturmgefährdungen häufig, für seismische Sicherheitsanalysen von Tragwerken jedoch nur bedingt zu: Unter den viel selteneren Erdbebeneinwirkungen - Wiederkehrperiode 475a gegenüber 50a bei Stürmen - wird nämlich das Material eines Tragwerks oftmals bis weit in den inelastischen Bereich hinein beansprucht, und die sich einstellenden Tragwerksdeformationen erreichen dann durchaus die Größenordnung der Tragwerksabmessungen. **Abbildung 8.1.3.1** gibt einen Eindruck von derartigen seismischen Verformungen.

**Abbildung 8.1.3.1**: Seismische Tragwerksdeformationen

Für derartige Fälle stellen lineare Systemmodellierungen nur erste Annäherungen dar. Für echte nichtlineare Computersimulationen arbeitet man mit sogenannten Tangentialraum-Approximationen der nichtlinearen Bewegungsgleichung, durch Bildung der ersten Variation linearisierten inkrementellen Beschreibungen in Momentanpunkten X(P, t) der zeitabhängigen nichtlinearen Last-Verformungspfade, für welche die tangentiale Bewegungsgleichung als grundlegende physikalische Beziehung folgende Form annimmt:

$$M\,\delta\ddot{X} + C_T\,\delta\dot{X} + K_T\,\delta X = \delta P(t) = P(t) - F_I$$

Hierin bezeichnet M wieder die globale Massenmatrix, $\mathbf{C_T}$ die tangentiale Dämpfungsmatrix und $K_T$ die tangentiale Steifigkeitsmatrix. P(t) verkörpert die auf das Tragwerk einwirkende, zeitveränderliche Gesamtlast, und $F_I$ bezeichnet den Vektor der inneren Gleichgewichtskräfte eines erreichten dynamischen Grundzustandes. Die Zustandsvektoren $\{\delta X, \delta\dot{X}, \delta\ddot{X}\}$ stehen für die ersten Variationen der Knotendeformationen (Knotenfreiheitsgrade), deren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Die zustandsabhängigen Tangentialraummatrizen $C_T$ und $K_T$ können nach Standardalgorithmen in nichtlinearen finiten Element-Programmen aufgebaut werden [Krätzig 1989].

Numerische Integrationsalgorithmen

Die obige tangentiale Bewegungsgleichung kann im Rahmen einer FE-Sicherheitsanalyse nur numerisch integriert werden. Hierzu muss der dynamischen Erregungsprozess P(t), bei-

spielsweise die seismische Bodenerregung $P(t) = M \ddot{X}_g(t)$, auf der rechten Seite als Beschleunigungszeitverlauf (time-history) über dessen Dauer vorgegeben werden. Mittels numerischer Integrationsalgorithmen – siehe [Bathe u. Wilson, 1976; Bathe, 1992; Clough u. Penzien, 1982; Zienkiewicz, 1989] - lassen sich aus der tangentialen Bewegungsgleichung die Antwortzeitverläufe als Wertefolgen im Abstand kleiner Zeitschritte $\Delta t$ berechnen. Dabei müssen die Tangentialraummatrizen $C_T$ und $K_T$ laufend über die Zeit t sowie in sämtlichen Integrationspunkten (Gausspunkten) der Tragwerksmodellierung aktualisiert werden. Bei starken Nichtlinearitäten des Tragwerks, beispielsweise infolge von Erdbebenschädigungen, erfolgt dies natürlich iterativ [Bathe, 1982; Krätzig 1989].

Die skizzierten Analysetechniken sind äußerst aufwendig. Sie werden im deutschen Bauwesen nur von wenigen spezialisierten Ingenieurbüros beherrscht und nur für aufwändige seismische Sicherheitsananlysen, z.B. in der Kerntechnik, eingesetzt. Deshalb werden im Erdbebeningenieurwesen normgerechte seismische Sicherheitsanalysen zumeist mittels erheblich vereinfachter, linearisierter Näherungsmodelle durchgeführt. In diesen werden alle nichtlinearen Antwortphänomene durch mehr oder weniger geeignete Modellapproximationen linearisiert (Push-Over-Analysis).

Antwortphänomene

Die aus einer numerisch exakten Integration der tangentialen Bewegungsgleichung entstehenden Antwortzeitverläufe der einzelnen Freiheitsgrade $X_i(t)$ können vielfältige, typisch nichtlineare Phänomene aufweisen, siehe [Kreuzer, 1987; Paz, 1985], die nur von Experten der Baudynamik richtig interpretiert werden können. Zu den einfachst identifizierbaren (numerischen) Phänomenen zählen Auswanderungen der Basislinien als Folge numerischer Integrationsungenauigkeiten. Echte nichtlineare Prozesseigenschaften sind vielfältige kinetische Instabilitätsphänomene [Awrejcewicz, 1995; Krätzig et.al., 1997; Waller u. Schmidt, 1989] bis hin zum chaotischen Verhalten [Moon, 1987; Natke, 1992] des dynamischen Systems.

Heute sind die Phänomene der Tragwerksdynamik, auch der nichtlinearen, wissenschaftlich weitgehend geklärt. In der praktischen Anwendung auf technische Fragestellungen sind in Deutschland aber immer wieder erstaunliche Know-How-Defizite feststellbar.

## 8.2 Sachstandsanalyse: Sturmeinwirkungen auf Tragwerke

### 8.2.1 Mögliche Defizite bei Produktionsanlagen

Vor einer Detaillierung der Sturmeinwirkungen auf bauliche Anlagen (Tragwerke) sollen hier mögliche Defizitquellen bei Produktionsanlagen vorweggenommen werden, um das Bewusstsein des Lesers zu schärfen. Mögliche Defizitquellen werden später im Kapitel 8.7 im Einzelnen begründet werden; sie entstehen durch

- veränderte Lastannahmen durch die Einführung von 4 Windzonen in der DIN 1055-4 (03/2005);
- das Verfahren der baurechtlichen Mitgenehmigung bei BImSchG-Genehmigungen durch die federführende Genehmigungsbehörde (aufgrund z.T. mangelnder Definition und Integration von bautechnischen Prüfungen).

In der neuen Windnorm DIN 1055-4 (03/2005) sind die einem Sicherheitsnachweis heute zugrunde zu legenden Windlasten im Gebiet der Bundesrepublik in vier Windzonen unterteilt. Demgegenüber verwendeten alle früheren Windnormen für Deutschland einheitliche Windlastvorgaben. Durch diese Modifikation können sich bei bereits bestehenden Bauwerken in den neuen Windzonen 2, 3 und 4 nach heutiger Auffassung Lastdefizite ergeben. Üblicherweise spielen diese bei Wohngebäuden aus klassischen schweren Baumaterialien keine global sicherheitsmindernde Rolle. Bei leichteren Produktionsanlagen kann dies aber, zusammen mit zu geringen baudynamischen Kenntnissen der beteiligten Ingenieure, durchaus zu Sicherheitsdefiziten führen.

Die baurechtliche Mitwirkung bei einem BImSchG-Genehmigungsverfahren läuft i.a. so ab, dass die federführende Genehmigungsbehörde vom zuständigen Bauordnungsamt Amtshilfe erbittet. Letzteres urteilt jedoch i.a. nach Kategorien der Bauordnung (Baukörperhöhe), die für leichte Produktionsgerüste, beispielsweise mit eingehängten Produktionskomponenten, völlig unzureichend sein können. Vielmehr wären

hier vertiefte Kenntnisse der Bauwerksaerodynamik, möglicherweise auch der Tragwerksdynamik, erforderlich, um Sicherheitsdefizite zu vermeiden, die das vorgeschriebene Genehmigungsverfahren höchstens zufällig bereitstellt. Den Verfassern dieser Studie sind mehrere Fälle mit derartigen genehmigungsbedingten Sicherheitsdefiziten infolge Sturmwirkungen und Schadensfolgen bekannt.

Bei der Bewertung von Sturmrisiken von Anlagen wäre somit besonders zu prüfen,

- ob Anlagenteile gegenüber der neuen Norm korrekt bewertet wurden,
- ob grundsätzliche Defizite im Vollzug bestehen oder bestanden,
- ob dies zu grundsätzlichen Defiziten im Bestand geführt haben könnte,

damit der nach BImSchG und StörfallV für die Sicherheit seiner Anlage verantwortliche Betreiber seiner Verantwortung auch nachkommen kann. Bekanntlich waren/ sind in Sicherheitsanalysen/Sicherheitsberichten die Gefahrenquellen unabhängig vom Baurecht zu prüfen. Erforderlich wäre auch, dass die federführende Genehmigungsbehörde im BImSchG-Verfahren eine Zusammenarbeit von Prüfstatiker und Prüfer der Anlagensicherheit eines Betriebsbereiches nach der StörfallV gewährleistet.

## 8.2.2 Grundbegriffe der Tragwerksaerodynamik

In diesem Abschnitt des Kapitels werden einige erforderliche Grundbegriffe der Tragwerksaerodynamik erläutert, die im Normenwerk über Sturmeinwirkungen auf Bauwerke stets verwendet werden.

Windwirkungen

Die Naturphänomene Wind und Sturm werden von Menschen als Geschwindigkeitsfelder $v(x_i, t)$ strömender Luftmassen mit zeitlich starker Varianz von Geschwindigkeit und Strömungsrichtung wahrgenommen. Die **Abbildung 8.2.2.1** liefert durch zwei Profilschnitte einen 24 s dauernden Eindruck von den in die Grundströmung zufällig eingebettet erscheinenden Turbulenzballen, kurz dem stochastischen Charakter der Geschwindigkeiten eines Sturmfeldes. Trotz der offensichtlich schwachen räumlichen und zeitlichen Korrelationen seiner Wirkungen wird diesen in technischen Anwendungen physikalisch ein zeitinvarianter Strömungsdruck (Geschwindigkeitsdruck)

$$q = 0{,}50\ \rho\ v^2$$

zugeordnet. $\rho$ beschreibt hierin die Luftdichte und v die Strömungsgeschwindigkeit an einem bestimmten Ort $x_i$ zu einem bestimmten Zeitpunkt t. Die Luftdichte hängt von der Meereshöhe des Standorts, der Lufttemperatur und dem Luftdruck ab. Sofern nicht anders festgelegt, wird im Windingenieurwesen ein Wert von $\rho$ = 1,25 kg/m$^3$ verwendet, entsprechend einem Luftdruck von 1013 hPa und einer Mitteltemperatur von 10 °C in Meereshöhe. Hierfür erhält man aus der obigen Beziehung die Abhängigkeit zwischen Strömungsdruck und Windgeschwindigkeit zu

$$q = v^2/1600$$

mit den Einheiten für q in kN/m$^2$ und v in m/s. Die hierin in einem Tragwerksentwurf zu verwendenden Entwurfsgeschwindigkeiten v sind normenseits festgelegt.

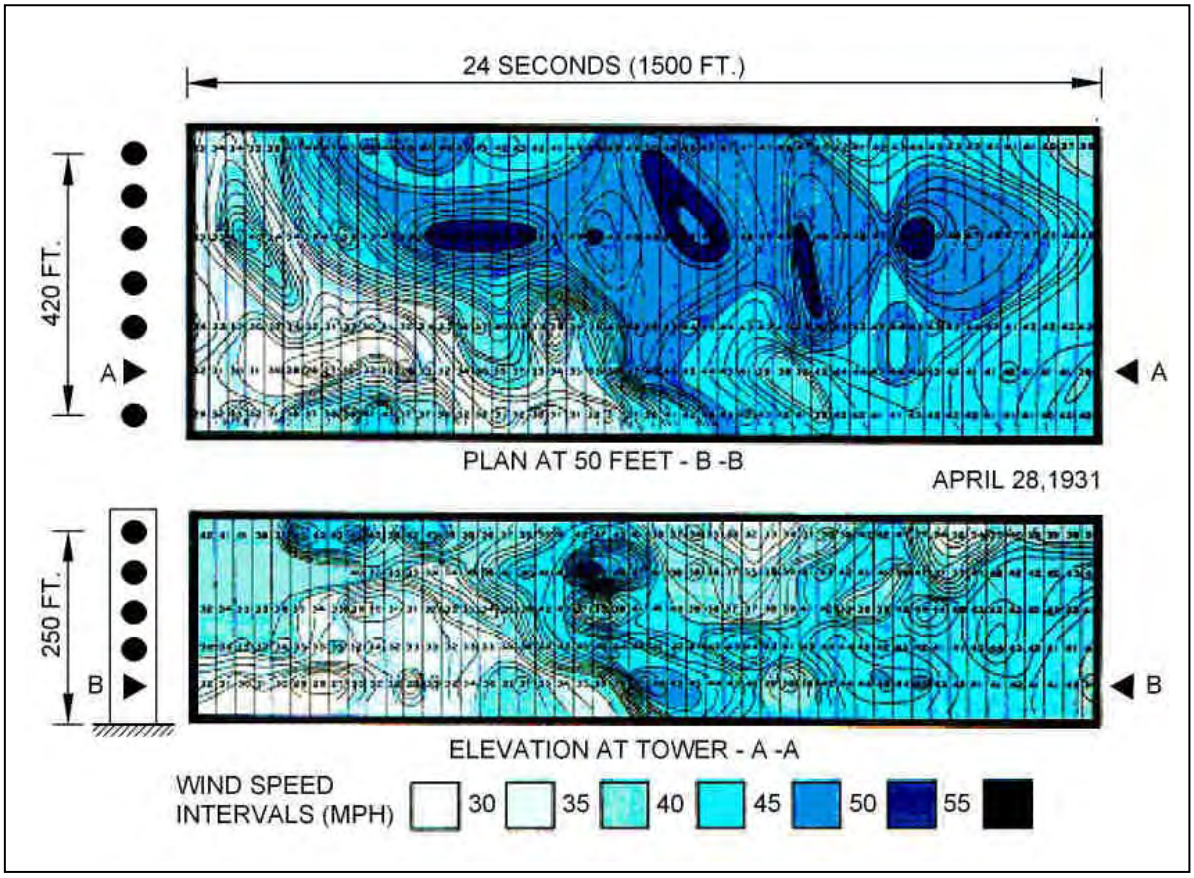



**Abbildung 8.2.2.1**: 24-Sekunden-Profil eines Sturms (Sherlock u. Stout, 1937)

Sturmschäden

Die jährlichen volkswirtschaftlichen Sturmschäden in den Industriestaaten erreichen außerordentlich hohe Beträge, siehe **Abbildung 8.2.2.2** Die mittlere jährliche Schadenssumme in den USA, Mitteleuropa und Asien betrug in den hinter uns liegenden 20 Jahren jeweils ca. 22 Mrd. US-$ [Münchner Rück, 2002]. Allein fast die Hälfte entfällt auf Nordamerika. Deutschland ist davon mit einer Summe von mindestens 0,5 Mrd. US-$ jährlich betroffen.

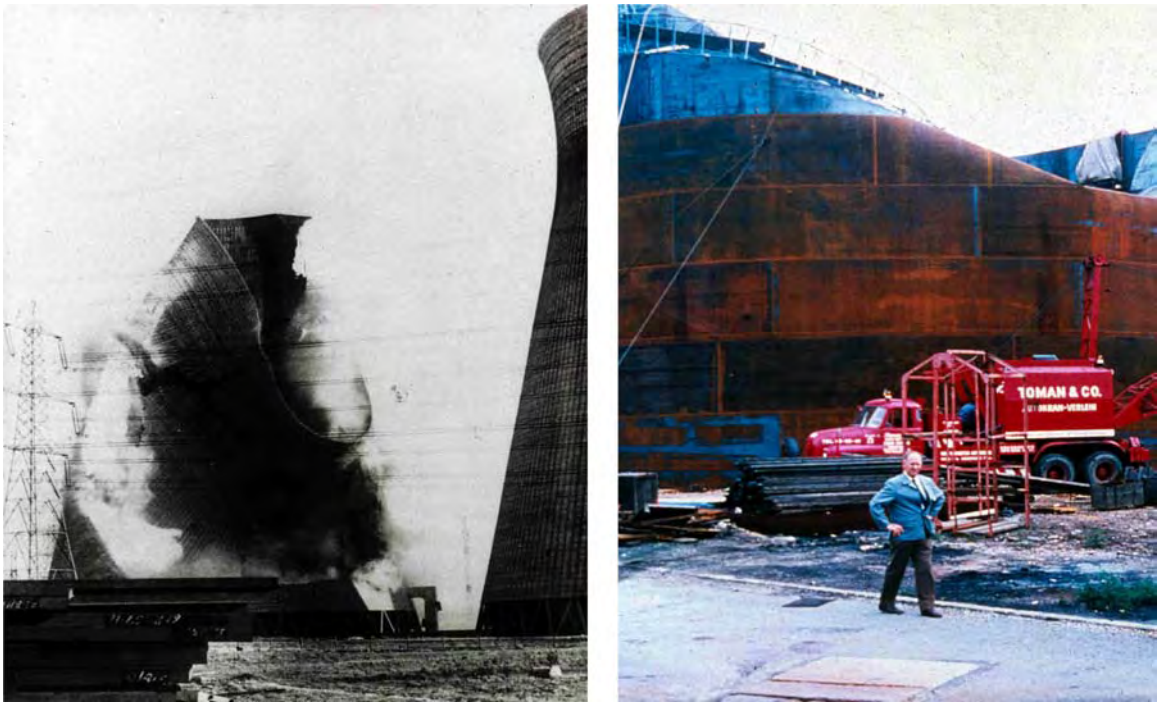



**Abbildung 8.2.2.2**: Herbststürme in Mitteleuropa: Einsturz eines Naturzugkühlturms und eines Öltanks

Windlasten

Windlasten werden in der Bauwerksaerodynamik als Tragwerkseinwirkungen in Form von Winddrücken oder Windkräften angegeben. Beide werden im Allgemeinen als von der Himmelsrichtung unabhängig wirkend angesehen [DIN E 1055-4, 6.1]. Winddrücke wirken auf außenliegende Oberflächen von Baukörpern ein, infolge der Durchlässigkeit von äußeren Hüllen aber auch auf innenliegende Oberflächen. Der Winddruck wirkt im Regelfall normal zur betrachteten Oberfläche.

**Geschwindigkeitsdrücke**

Die auf ein Bauwerk anzusetzenden Winddrücke oder Windkräfte sind auf die Geschwindigkeitsdrücke $q_{ref}$ bezogen, welche an die Windgeschwindigkeiten $v_{ref}$ gekoppelt sind. $v_{ref}$ wird als extremales 10 min-Mittel mit einer 50-jährigen Wiederkehrperiode definiert (jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit: $p_f$ = 0,02; DIN E 1055-4, 7.1). Diese Festlegung ist willkürlich; sie wird durch eine „volkswirtschaftlich akzeptable“ Windschadenrate gerechtfertigt [Kasperski, 2000].

**Windzonenkarte**

Die deutsche Windzonenkarte enthält jeweils verbindliche Werte von $v_{ref}$ und $q_{ref}$. Dabei ist die Bundesrepublik Deutschland einschließlich des nationalen Teiles der Deutschen Bucht nach DIN 1055-4 (03/2005) in 4 Windzonen unterteilt, für welche in der Windzonenkarte (DIN E 1055-4, Anhang A) die dort maßgebenden extremalen 10 min-Mittelgeschwindigkeiten $v_{ref}$ mit Auftretenswahrscheinlichkeiten von $p_f$ = 0,02 und zugehörigen Geschwindigkeitsdrücken $q_{ref}$ angegeben sind. Diese gelten für Meeresniveau. Der Staudruck $q_{ref}$ ist um den höhenabhängigen Standortfaktor (0,2 + $H_s$/1000) anzuheben, wenn der Bauwerksstandort über 800 m Seehöhe liegt. Für Kamm- und Gipfellagen der Mittelgebirge sowie generell für Hochgebirgsstandorte $H_s \geq 1100$ m werden Sonderüberlegungen empfohlen.

**Entwurfsrelevante Geschwindigkeitsdrücke**

Dem entwurfsmaßgebenden Geschwindigkeitsdruck q(z) für einen Standort liegen in Abhängigkeit der Windzone extremale Böengeschwindigkeiten von 2 bis 4 Sekunden Dauer zugrunde. Hieraus entstehende, vereinfachte konstante Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe finden sich in Abhängigkeit der Windzonen in DIN E 1055-4, 10.2, Tabelle 2.

**Höhenprofile q(z) der maßgebenden Geschwindigkeitsdrücke**

Die maßgebenden Geschwindigkeitsdrücke sind als Funktionen der Basisdrücke $q_{ref}$ der 4 Windzonen und der Höhen z über Gelände in DIN E 1055-4, 10.3 angegeben: $q = q(z, q_{ref})$. Neben den dort enthaltenen Höhenprofilen für den Regelfall finden sich im Anhang B der Norm erweiterte Höhenprofile der Entwurfs-Windgeschwindigkeiten unter detaillierterer Berück-sichti-

gung der Bauwerksumgebung, in der Bauwerksaerodynamik durch die Geländerauhigkeit gekennzeichnet.

Nicht-schwingungsanfällige Konstruktionen

Bei ausreichend versteiften, nicht-schwingungsanfälligen Tragwerken werden Windwirkungen durch statische Ersatzlasten erfasst, die von den maßgebenden extremen Böenwindgeschwindigkeiten über den zugehörigen Geschwindigkeitsdruck q(z), von der Tragwerksform über aerodynamische Beiwerte c und von der Windangriffsfläche A abhängig sind. Eine solche resultierende Windlast lautet somit in allgemeiner Form:

$$F_w = c_f * q(z, q_{ref}) * A_{ref}.$$

Tragwerke gelten übrigens als nicht-schwingungsanfällig, wenn ihre elastischen Verformungen unter Windeinwirkung durch Böenresonanz um nicht mehr als etwa 10% vergrößert werden [DIN E 1055-4, 6.2].

Schwingungsanfällige Konstruktionen

Hier darf die Beanspruchung infolge von Böenerregung ebenfalls näherungsweise durch statische Ersatzlasten erfasst werden, die nun jedoch um den Böreaktionsfaktor G nach DIN E 1055-4, Anhang C, vergrößert werden müssen. Für solcherart beanspruchte Konstruktionen lautet somit eine bemessungsmaßgebende Windlast allgemein:

$$F_w = G * c_f * q(z, q_{ref}) * A_{ref}.$$

Der Böreaktionsfaktor G ist hierin von der Turbulenzintensität des Windes, seinem Höhenprofil, dem sog. Spitzenwert und der ersten Eigenfrequenz des Tragwerks, seiner Grundfrequenz, abhängig.

## 8.2.3 Kurzübersicht über DIN E 1055-4

### 8.2.3.1 Gefährdungspotenzial von Stürmen: Windzonen, Referenzgeschwindigkeiten und maßgebende Staudrücke

Die Windzonenkarte der Bundesrepublik Deutschland in DIN E 1055-4, Anhang A, beschreibt das Gefährdungspotenzial infolge von Stürmen. Sie bildet damit die Basis zur verbindlichen Festlegung der entwurfsrelevanten Windbeanspruchungen jedes in Deutschland nach den Landesbauordnungen zu errichtenden Bauwerks. Die Referenzgeschwindigkeiten und Referenz-Geschwindigkeitsdrücke liefern für jeden Standort in Deutschland extremale Referenz-Windgeschwindigkeiten von 10 min-Mittelungsdauer $v_{ref}$ mit 50-jähriger Wiederkehrperiode sowie zugehörige Referenz-Staudrücke $q_{ref}$. Diese Werte sind international auf eine Höhe von 10 m über Bodenniveau bezogen und entstammen heute etwa 100-jährigen Aufzeichnungen des Deutschen Meteorologischen Dienstes.

Windgeschwindigkeitsmittel von 10 min Dauer $v_{ref}$ bzw. deren Referenzdrücke $q_{ref}$ sind natürlich als maßgebende Entwurfslasten wegen der kürzeren Böendauern für Tragwerksdimensionierungen viel zu niedrig. Daher werden diese Referenzangaben der jeweiligen Windzone in DIN E 1055-4, Abschnitt 10 und Anhang B, empirisch auf Zeitintervalle von 2 – 4 s extrapoliert, auf Böendauern also, die windphysikalisch für Tragwerksdimensionierungen erheblich wirklichkeitsnäher sind. Dadurch entstehen für jede Windzone entwurfsmaßgebende Geschwindigkeitswinddrücke q ($q_{ref}$, z). Ebenfalls erfolgt in den genannten Abschnitten von DIN E 1055-4 die Extrapolation der Geschwindigkeitsdrücke über die Bauwerkshöhe z, für niedrige Bauwerke bis 25 m Höhe als konstant über die Bauwerkshöhe wirkend, darüber durch empirisch belegte Exponentialgesetze (siehe **Abbildung 8.2.3.1.1**).

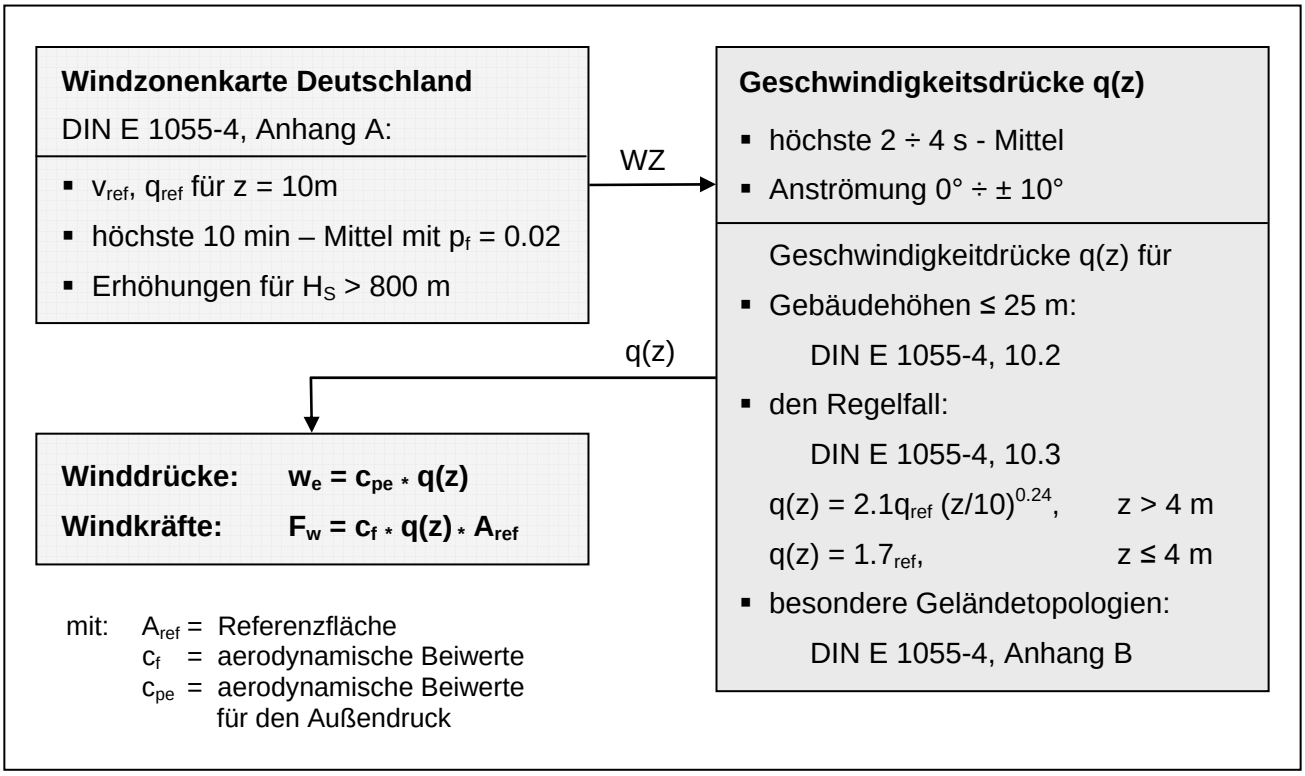



**Abbildung 8.2.3.1.1**: Von Windzonen der DIN E 1055-4 zu Bauwerkseinwirkungen

### 8.2.3.2 Schwingungsanfällige und nicht-schwingungsanfällige Tragwerke

Wenig verformbare Tragwerke sind i.a. schwingungsunempfindlich, in der Norm DIN E 1055-4 gelten sie daher als nicht-windschwingungsanfällig. Für diese Tragwerksklasse können die eben erläuterten, entwurfsrelevanten Geschwindigkeits-Winddrücke $q(q_{ref}, z)$ unmittelbar der Tragwerksdimensionierung zugrunde gelegt werden. Dies gilt natürlich nicht für generell schwingungsfähige, z.B. schlanke Tragstrukturen: Diese werden durch die Böigkeit des Windes und wind-typische Erregungsmechanismen zu Schwingungen angeregt, welche die mechanischen Beanspruchungen im Tragwerk erhöhen, gegebenenfalls Werkstoffermüdung hervorrufen (High-Cycle Fatigue) und damit die Tragwerkssicherheit erheblich reduzieren können. Solche Tragwerke gelten daher als windanfällig.

Als Klassengrenze zwischen Tragwerken, die eine zeitunabhängige (statische) Behandlung von Windwirkungen gestatten, und solchen, die eine Berücksichtigung der Schwingungseffekte erfordern, wird i.a. eine 10-prozentige Vergrößerung der stati-

schen Windverformungen durch die strömungs-induzierte Tragwerksdynamik [Eibl u. Häussler-Combe, 1997; Petersen, 1996] angesehen, d.h.

$$X_{ges} = X_{stat} + X_{dyn} \leq 1{,}10\ X_{stat}.$$

Zur Abschätzung dieser Klassengrenze enthalten alle Windvorschriften empirische Überschlagsformeln. Das Konzept der alten DIN 1055-4 (08/1986) befindet sich auf **Abbildung 8.2.3.2.1**, es verknüpft das mittlere logarithmische Dämpfungsdekrement $\delta$ des vorliegenden Tragwerks mit einem Geometrieparameter, welcher die Gedrungenheit der Struktur abbildet. Aus beiden wird die Schwingungsempfindlichkeit abgeschätzt.

Das Abschätzungskonzept der DIN E 1055-4 enthalten in **Abbildung 8.2.3.2.2**, modifiziert das Vorgehen der alten Norm, ohne jedoch zu einer neuen tragwerksmechanischen Aussage zu gelangen. Um nicht die niedrigste Tragwerks-Eigenfrequenz verwenden zu müssen, verknüpft es nunmehr das logarithmische Dämpfungsdekrement $\delta$ und die Bauwerksgeometrie mit einer hypothetischen Kopfpunktverschiebung $x_s = x_{stat,\ G}$ des Tragwerks in Windrichtung unter der ebenfalls in Windrichtung angesetzten gesamten Eigenlast G. (Dies ist die versteckte Abhängigkeit von der Eigenfrequenz, welche genau wie die horizontale quasi-statische Tragwerksverschiebung ein Maß für die Flexibilität der Gesamtstruktur ist). Außerdem nimmt es Bezug auf die Bauhöhengrenze $h_{ref}$ = 25 m niedriger Bauwerke [DIN E 1055-4, Abschnitt 10.2].

## Logarithmische Dämpfungsdekremente

| Konstruktionsart | δ |
|---|---|
| Stahlkonstruktionen | |
| geschraubt (SL-Verbindung) | 0.05 |
| geschraubt (GV- oder GVP-Verbindung) | 0.03 |
| geschweißt | 0.02 |
| Zuschlag für dämpfende Einbauten, z. B. Ausmauerung | 0.02 |
| Zuschlag für offene geschraubte Gitterkonstruktionen | 0.02 |
| Beton- und Stahlbetonkonstruktionen | |
| Zustand I (auch Spannbeton) | 0.04 |
| Zustand II* | 0.10 |
| Zuschlag für dämpfende Einbauten, z. B. Ausmauerungen | 0.02 |
| Mauerwerkskonstruktionen | 0.12 |
| Holzkonstruktionen | 0.15 |

*) Nur für Konstruktionen, die sich im Gebrauchszustand überwiegend im Zustand II befinden

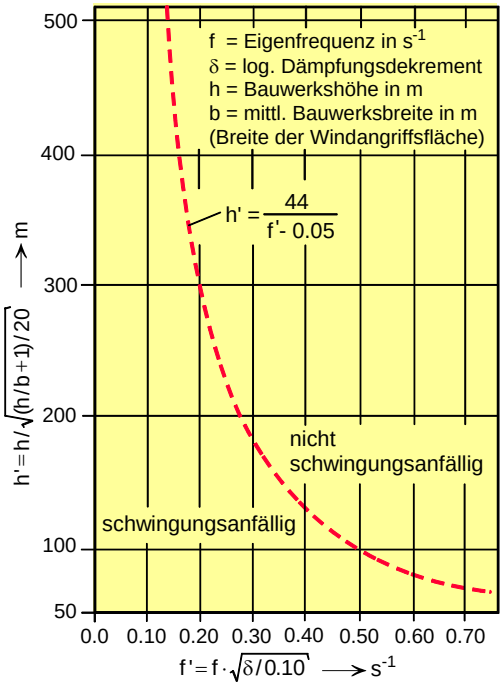



**Abbildung 8.2.3.2.1**: Abgrenzung schwingungsanfälliger von nicht schwingungsanfälgen Strukturen nach DIN 1055, Teil 4 (8/86)

$$\frac{\delta}{\left(\sqrt{\frac{25}{h}\cdot\frac{h+b}{b}}+0.125\sqrt{\frac{h}{25}}\right)^2} \gtrless \frac{x_G}{h}:$$

$x_{G\,ges} \le 1.10\, x_{G\,stat}$: nicht schwingungsanfällig

$x_{G\,ges} > 1.10\, x_{G\,stat}$: schwingungsanfällig

h Bauwerkshöhe in m
b Bauwerksbreite in m
$x_G$ Kopfpunktverschiebung unter G in Windrichtung, in m
δ logarithmisches Dämpfungsdekrement nach DIN E 1055-4 Anhang F

**Abbildung 8.2.3.2.2**: Abgrenzung schwingungsanfälliger von nicht schwingungsanfälligen Strukturen nach DIN E 1055-4, 6.2

### 8.2.3.3 Windeinwirkungen auf nicht-schwingungsanfällige Tragwerke

Mit dem entwurfsmaßgebenden Geschwindigkeitswinddruck $q(q_{ref}, z)$ werden in DIN E 1055-4 Windeinwirkungen als Oberflächendrücke sowie als Oberflächenkräfte verfügbar gemacht, die als Windlasten in Sicherheitsanalysen im Sinne der Bauordnungen Verwendung finden müssen. Im Einzelnen werden diese folgendermaßen definiert:

$$w_e = c_{pe} * q(z_e),$$
$$w_i = c_{pi} * q(z_i),$$
$$F_w = c_f * q(z_e) * A_{ref}.$$

Hierin bedeuten:

| | |
|---|---|
| $w_e$ | auf eine Außenfläche eines Bauwerks wirkender Winddruck bzw. Windsog, |
| $w_i$ | auf eine Innenfläche eines Bauwerks wirkender Winddruck bzw. Windsog, |
| $F_w$ | auf ein Bauwerk oder Bauteil wirkende Gesamtwindkraft, |
| $q(...)$ | entwurfsmaßgebender Geschwindigkeitswinddruck, |
| $z_e$, $z_i$ | Bezugshöhen für die Druck- oder Kraftbeiwerte, |
| $c_{pe}$ | aerodynamische Beiwerte für den Außendruck, |
| $c_{pi}$ | aerodynamische Beiwerte für den Innendruck, |
| $c_f$ | aerodynamische Kraftbeiwerte, |
| $A_{ref}$ | Bezugsfläche für den aerodynamischen Kraftbeiwert $c_f$. |

### 8.2.3.4 Aerodynamische Druck- und Kraftbeiwerte

Die DIN E 1055-4 enthält im Abschnitt 12 über fast 40 Seiten eine Sammlung aerodynamischer Beiwerte für die verschiedenartigsten Baukörper, aufbereitet für eine unmittelbare Anwendung im Standard-Ingenieurbau. Die aufgenommenen Baukörper werden strömungsmechanisch als Einzelobjekte (Solisten) angesehen, d.h. sowohl Interferenzen zwischen benachbarten Baukörpern als auch Abschattungswirkungen werden i.a. nicht berücksichtigt.

Durchgehend wird einzig für Dachflächen die wichtige Abhängigkeit dieser aerodynamischen Beiwerte von der Bezugsflächengröße $A_{ref}$ angegeben, da die Böigkeit des natürlichen Windes physikalisch natürlich vom Beobachtungsmaßstab abhängt.

Dieses erfolgt so, dass die aerodynamischen Beiwerte $c_{pe,1}$ für $A \leq 1$ m² und $c_{pe,10}$ für $A > 10$ m² aufgeführt sind, und eine Interpolationsbeziehung für dazwischen liegende Bezugsflächengrößen angeboten wird. Diese turbulenzbedingte Abhängigkeit der Windkräfte vom Betrachtungsmaßstab entstammt theoretischen Überlegungen zur Größe der Turbulenzballen des natürlichen Windes. Der Anwender sollte nicht in den Fehler verfallen, hieraus Spitzendrücke (oder Spitzengeschwindigkeiten) von Tornados herleiten zu wollen. Derartige Naturerscheinungen sind in Mitteleuropa derartig selten, dass messtechnisch fundierte Aussagen über sie nicht existieren.

**Abbildung 8.2.3.4.1** gibt einen Überblick über die in DIN E 1055-4, Abschnitt 12 enthaltenen geometrischen Körper, für welche aerodynamische Beiwerte aufgeführt sind. Für nicht aufgenommene Geometrien verweist DIN E 1055-4 auf die weitergehende Fachliteratur, siehe z.B. [Hucho, 2002]. Bei Erfordernis größerer Wirklichkeitsnähe werden Versuche in Grenzschicht-Windkanälen eingesetzt [WTG-Merkblatt, 1999] und zur Schadensvermeidung dringend empfohlen.

| | | |
|---|---|---|
| 12.1 | Prismatische Baukörper: | $c_{pe}, c_{pi}$ |
| 12.2 | Freistehende Dächer: | $c_p$ |
| 12.3 | Freistehende Wände: | $c_p$ |
| 12.4 | Bauteile (Stäbe) mit rechteckigem Querschnitt: | $c_f$ |
| 12.5 | Bauteile (Stäbe) mit kantigem Querschnitt: | $c_f$ |
| 12.6 | Bauteile (Stäbe) mit polygonalem Querschnitt: | $c_f$ |
| 12.7 | Zylinder: | $c_p, c_f$ |
| 12.8 | Kugeln: | $c_f$ |
| 12.9 | Fachwerke: | $c_f$ |
| 12.10 | Brückenquerschnitte: | $c_f$ |
| 12.11 | Flaggen: | $c_f$ |

**Abbildung 8.2.3.4.1**: Übersicht über aerodynamische Beiwerte für Körpergeometrien in DIN E 1055-4

### 8.2.3.5 Schwingungsanfällige Tragwerke

Alle bisherigen deutschen Windnormen waren stets so angelegt, dass sie schwingungsanfällige Tragwerke nicht favorisierten: Durch die Allgemeinheit genutzte Bauwerke sollen eben nicht schwingungsempfindlich sein, um den Nutzungskomfort durch gefühlte Bewegungen nicht zu beeinträchtigen. Diese Einschränkung gilt auch für die neue DIN E 1055-4, obwohl diese erstmals grundsätzlich auch dynamische Windwirkungen an Tragwerken bis hin zu aerodynamischen Instabilitätseffekten

zwecks möglicher Detailuntersuchung aufzählt. Die genannten dynamischen Phänomene an Tragwerken sind:

- böenerregte Schwingungen,
- wirbelerregte Querschwingungen infolge periodischer Wirbelablösung,
- selbsterregte Schwingungen, insbesondere Galloping und Flattern,
- Instabilitätsphänomene, beispielsweise Divergenzinstabilitäten,
- Interferenzschwingungen, verursacht durch benachbarte Baukörper,
- stochastische Translationsquerschwingungen und Torsionschwingungen,
- Schwingungen von Hängern und Seilen, verursacht durch Regen und Wind.

Das erste der aufgezählten Schwingungsphänomene wird in einer quasi-statischen Näherung in DIN E 1055-4, Anhang C, näher erläutert. Für die folgenden vier Phänomene finden sich Hinweise in DIN E 1055-4, Abschnitt 11, sowie in den Anhängen D und E. Es sei aber betont, dass DIN E 1055-4 für echte Windschwingungsanalysen von Tragwerken, etwa im Rahmen von Sicherheitsnachweisen für besonders risikobehaftete bauliche Anlagen, nur äußerst lückenhafte Angaben bereithält. Insbesondere fehlen alle hierin erforderlichen Angaben zu den zu berücksichtigenden Einwirkungsfrequenzen sowie Schwingungszyklen, die beispielsweise für Ermüdungsanalysen von grundlegender Bedeutung sind.

### 8.2.3.6 Böenerregte Tragwerksschwingungen

Als einziges Analysekonzept für windinduzierte Tragwerksschwingungen in Windrichtung enthält DIN E 1055-4 ein Konzept zur Ermittlung von quasistatischen Zustandsgrößen für Böenerregung. Das Verfahren beruht auf der Ermittlung eines Böreaktionsfaktors G für die Grundschwingung eines vertikalen, linear-elastischen Kragsystems. Es darf ebenfalls auf horizontale Tragsysteme mit ähnlich einfachen Schwingungsformen, beispielsweise Einfeldträgern von Brücken, angewendet werden. Das Verfahren gilt ausdrücklich nicht für durchlaufende Systeme, abgespannte Maste, seilverspannte Brücken oder Bogenbrücken, wofür erhebliches Fachwissen der Bauwerksaerodynamik erforderlich ist. Es erfasst ausdrücklich keine Schwingungen quer zur Windrichtung, welche durch Wirbelablösungen verursacht werden können.

In bewusster Analogie zu nicht-schwingungsanfälligen Tragwerken wird die quasi-statische Ersatz-Windkraft $F_{wd}$ durch

$$F_{wd} = G * c_f * q_m(z_{eff}) * A_{ref}$$

definiert, gegenüber Abschnitt 8.2.3.3 nunmehr ergänzt um den Böreaktionsfaktor G. Im Gegensatz zum Geschwindigkeitsdruck $q(q_{ref}, z)$ bei nicht-schwingungsanfälligen Tragwerken enthält DIN E 1055-4 für Böendynamik keine Abhängigkeit von den Spitzengeschwindigkeiten $v_{ref}$ der einzelnen Windzonen, sondern eine solche von den mittleren Geschwindigkeiten $v_m$ von vier Geländekategorien (I: Flaches Land, II: Landwirtschaftliches Gebiet, III: Vorstadt, IV: Stadtgebiet), die in DIN E 1055-4, Anhang B, genauer definiert sind. Böenerregte Tragwerksschwingungen werden nämlich in erster Linie von der aktuellen Turbulenzintensität des Windes beeinflusst, die von der Geländetopologie abhängt, nicht vom 10 min-Geschwindigkeitsmittel. Die in DIN E 1055-4, Anhang B.2 tabellarisch enthaltenen Höhenprofile von $v_m$ werden durch die Beziehung

$$q_m = 0{,}50\ \rho\ v_m^2$$

in mittlere Geschwindigkeitsdrücke $q_m$ umgerechnet. $z_{eff}$ stellt dabei diejenige Tragwerkshöhe über Grund dar, in welcher der gedachte Schwerpunkt des Windstaudrucks $q_m$ angreift.

$$F_{wd} = G \cdot c_f \cdot q_m(z_{eff}) \cdot A_{ref}$$

- $z_{eff}$: effektive Bauwerkshöhe nach Bild C.1
- $q_m$: mittlerer Geschwindigkeitsdruck $q_m = \frac{1}{2}\rho v_m^2$, $v_m = v_m(z_{eff})$ nach Tabelle B.1
- $G$: Böreaktionsfaktor

$$G = 1 + 2g\ I_v(z_{eff})\sqrt{Q_o^2 + R_x^2}$$

- $R_x$: Resonanzanteil der Böreaktion nach C(6)
- $Q_o$: quasi-statischer Bögrundanteil nach C(5)
- $I_v(z_{eff})$: Turbulenzintensität nach Tabelle B.1
- $g$: Spitzenfaktor nach Bild C.2

**Abbildung 8.2.3.6.1**: Quasi-statische Wind-Ersatzkraft für Böenerregung nach DIN E 1055-4 Anhang C

Der erhaltene Ausdruck $F_{wd}$ wird im Sicherheitsnachweis als quasi-statische Ersatzlast wie jede andere zeitunabhängige Tragwerkseinwirkungen behandelt. Abbildung 8.2.3.6.1 enthält eine Kurzanleitung zum prinzipiellen Vorgehen bei der Ermittlung von G als Einführung in das sehr viel detailliertere Berechnungsschema der Norm [DIN E 1055-4].

## 8.3 Sachstandsanalyse: Erdbebeneinwirkungen auf Tragwerke

### 8.3.1 Mögliche Defizite bei Produktionsanlagen

Vor einer Detailerläuterung der seismischen Einwirkungen auf beliebige bauliche Anlagen (Tragwerke) der Landesbauordnungen sollen hier drei mögliche Defizitquellen der seismischen Sicherheit genannt werden, um die Aufmerksamkeit des Lesers bereits hier zu schärfen. Im Einzelnen werden diese im Kapitel 8.7 begründet. Mögliche Defizitquelle entstehen durch:

- die Neufassung der DIN 4149 mit einer Neuregelung des seismischen Gefährdungspotenzials;
- die zu späte bauaufsichtliche Einführung der alten Erdbebenvorschrift DIN 4149 in NRW erst im Jahre 1993;
- das Verfahren der baurechtlichen Mitgenehmigung für Anlagen durch die immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsbehörden.

In den vergangenen 20 Jahren, insbesondere nach dem Roermond-Erdbeben vom 13.04.1992, ist man – synchron mit weltweit in Japan und den USA (Kalifornien) gewonnenen Erkenntnissen – zu einer erheblich verschärften Einschätzung des Erdbebenrisikos in NRW gelangt. Dies hat zu generellen Erhöhungen der bei Tragwerksentwürfen zu berücksichtigenden seismischen Einwirkungen geführt. Selbst Anlagen, die vor 1993 entworfen wurden und bei denen die Gefährdung durch Erdbeben berücksichtigt wurde, können daher seismisch unterdimensioniert sein.

Sehr viel wahrscheinlicher aber ist, dass ältere Betriebsanlagen in seismischen Risikozonen des Landes erdbebenmäßig überhaupt nicht abgesichert sind, da vor 1993 die DIN 4149 bauaufsichtlich in NRW eben nicht eingeführt war. Weil in diesem Fall die Assekuranzen seismische Risiken nicht standardmäßig versichern, wurden diese in vielen Fällen schlicht ignoriert (Prinzip des scheinbar höheren Wissens).

Die baurechtliche Mitwirkung bei einem BImSchG-Genehmigungsverfahren läuft i.a., wie bereits unter 8.2.1 dargelegt, so ab, dass die federführende Genehmigungsbehörde vom zuständigen Bauordnungsamt Amtshilfe erbittet. Letzteres urteilt jedoch nach Kategorien der Bauordnung (Baukörperhöhe), die für seismische Beanspruchungen i.a. völlig unzutreffend sind. Hier sind zur Durchführung der Risikoeindämmung bereits nach dem (internationalen) „State-of-the-Art“ sehr vertiefte Kenntnisse der Baudynamik erforderlich, die ein normaler Bauingenieur in NRW nicht besitzt.

Unabhängig hiervon wäre bei der Bewertung seismischer Risiken von Anlagen somit besonders zu prüfen,

- ob Anlagenteile gegenüber der neuen Norm DIN 4149 (04/2005) korrekt bewertet wurden,
- ob grundsätzliche Defizite im Vollzug bestehen oder bestanden,
- ob dies zu grundsätzlichen Defiziten im Bestand geführt haben könnte,

damit der nach BImSchG und StörfallV für die Sicherheit seiner Anlage verantwortliche Betreiber seiner Verantwortung auch nachkommen kann. Bekanntlich waren/sind in Sicherheitsanalysen/Sicherheitsberichten die Gefahrenquellen unabhängig vom Baurecht zu prüfen. Erforderlich wäre auch, dass die federführende Genehmigungsbehörde im Verfahren nach dem BImSchG eine Zusammenarbeit von Prüfstatiker und Prüfer der Anlagensicherheit eines Betriebsbereiches nach der StörfallV gewährleistet.

### 8.3.2 Grundbegriffe des Erdbebeningenieurwesens

Nach dem heutigen Erkenntnisstand der Geowissenschaften besteht der Erdmantel aus einer ca. 100 km dicken Außenschale, der sog. Lithosphäre. Darunter liegt die dickflüssige Astenosphäre, die in mehreren Stufen in den flüssigen Erdkern übergeht. Die Lithosphäre besteht aus einzelnen plattenförmigen Strukturen, die auf der Astenosphäre schwimmen und sich durch primär thermisch verursachte Strömungsprozesse des Magma bewegen. Die Plattenränder reiben dabei aneinander und schaffen so die Ursache für eine Vielzahl von Phänomenen, vom Vulkanismus über Gebirgsfaltungen bis zu seismischen Ereignissen.

Erdbeben werden in der freien Natur als wellenartige Bodenbewegungen wahrgenommen. Physikalisch stellen sie räumliche Wellenprozesse dar, die vom Erdbebenherd ausgehen und ihre Energie in alle Richtungen der Lithosphäre abstrahlen. Die Geophysik unterscheidet dabei als Auswirkungen kinematischer Prozesse

- Längswellen (P-Wellen, Kompressionswellen) und
- Transversalwellen (S-Wellen, Scherwellen).

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der transversalen Scherwellen $v_s$ ist wesentlich kleiner als diejenige der Kompressionswellen $v_p$. Typische Wellengeschwindigkeiten sind $v_p \approx 6$ - 8 km/s gegenüber $v_s \approx 3 – 5$ km/s. Treffen diese Erdbebenwellen auf die freie Erdoberfläche, so entstehen sogenannte Oberflächenwellen, die geophysikalisch in RAYLEIGH- und LOVE-Wellen unterteilt werden. Als Folge eines seismischen Ereignisses werden i.a. nur diese Wellen gemessen. Sie sind für seismische Schädigungen an Bauwerken verantwortlich.

Seismische Schäden an Bauwerken und baulichen Anlagen sind somit primär eine Folge der oberflächennahen Bodenwellen. Für Bauwerke sind diese äußerst schädigungspotent, d.h. sicherheitsgefährdend und kostenintensiv, wie die **Abbildungen 8.3.2.1** und **8.3.2.2** exemplarisch belegen.

**Abbildung 8.3.2.1**: Seismische Bauwerksschäden: Vollständige Zerstörung des Erdgeschosses (links) und des kompletten Brückenüberbaus (rechts)

**Abbildung 8.3.2.2**: Seismischer Bauwerksverlust durch Bodenverflüssigung

Im Gegensatz zu Sturmschäden mit häufig lokaler Charakteristik ist bei Erdbeben fast immer die komplette bauliche Anlage betroffen. Wegen der seit ca. 1970 sehr intensiven baulichen Risiko- und Schadensforschungen in den Industrienationen mit seismisch aktiven Zonen ist hier heute selbst bei sehr starken Beben meist nur eine mäßige Zahl von Menschenlebenverlusten zu beklagen: Tokio 1923: 143.000 Tote, Tangchan 1976: 290.000 Tote, dagegen Kobe 1995: 6.350 Tote, Taipei 2001: 2000 Tote. Umso höher liegen die entstehenden Sachschäden, die bei vielen Einzelobjekten Totalschäden sind. So bezifferten sich die Gesamtschäden auf: Tokio 1923: 2,8 Mrd. US$, Kobe 1995: 100 Mrd. US$.

Die meisten Beben besitzen als geo-seismische Flachbeben ihren Ursprung in Tiefen des Erdmantels von 50 bis 80 km. Tiefbeben unterhalb von 300 km spielen für Erregungen auf der Erdoberfläche und damit für das seismische Risiko im Ingenieurwesen keine wesentliche Rolle mehr. Derjenige Punkt der Erdoberfläche, der in kürzester Entfernung zum Bebenherd, dem Hypozentrum, liegt, heißt Epizentrum. Die (senkrechte) Entfernung zwischen Epizentrum und Hypozentrum ist die Herdtiefe. Die Oberflächenentfernung eines Beobachtungspunktes von Epizentrum wird als Epizentralentfernung bezeichnet, die direkte, schräg durch die Erde gemessene Entfernung zum Bebenherd als Hypozentralentfernung [Bachmann, 1995; Meskouris und Hinzen, 2003].

Seit Jahrhunderten haben Menschen versucht, die verheerenden Auswirkungen seismischer Ereignisse zu erklären und zu klassifizieren. Während im Abendland bis weit in das Mittelalter hinein Erdbeben eher theologisch-mystische Begründungen erfuhren, existierten hierzu bereits im antiken China vor ca. 2200 Jahren entsprechende Gerätschaften. Die heutige Geophysik befasst sich intensiv mit Theorien zum Geschehen im Erdbebenherd und seiner nächsten Umgebung, den lokalen Bruch-

vorgängen mit den freigesetzten Formänderungsenergien sowie dadurch aktivierten Kräften, Momenten, Verschiebungen und Energien.

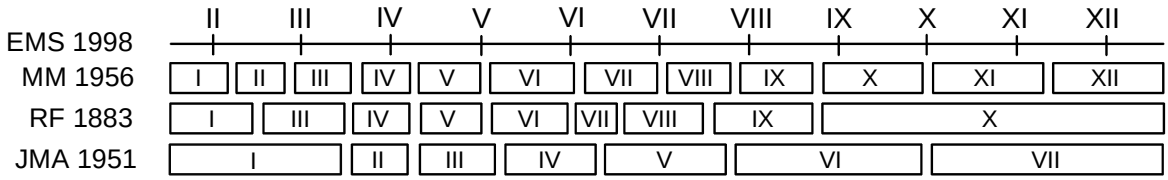
In der modernen Ingenieurseismologie, die sich mit Bebenauswirkungen auf die menschliche Umwelt befasst, spielen diese geophysikalischen Begriffe und Theorien nur eine untergeordnete Rolle. Hier stehen empirische Aussagen über die „Erdbebenstärke“ im Vordergrund [Klein, 1993]. Eine der bekanntesten Maße der Erdbebenstärke ist die Richter-Magnitude $M_L$, die 1935 von dem langjährigen Leiter des seismologischen Instituts der University of California in Berkeley, C. F. RICHTER, als

$$M_L = \log A - \log B$$

eingeführt wurde. Darin sind die A und B gemessenen Bodenverschiebungen eines betrachteten Bebens in einer festgelegten Entfernung. Auch diese, nach oben offene Richterskala ist als Maß für die seismische Beanspruchung von bautechnischen Anlagen und Strukturen nicht überaus geeignet. Besser geeignet sind empirische standortbezogene, energie- oder bodenbeschleunigungsabhängige Parameter, die als Intensitäten bezeichnet werden.

Mit der Einführung seismischer Intensitäten versucht die Ingenieurseismologie, Erdbebenstärken nach Schadensauswirkungen zu klassifizieren [Grünthal 1998]. Aus der Erdbebenforschung des vergangenen Jahrhunderts weiß man, wie bereits erwähnt, dass Schäden an baulichen Anlagen vornehmlich durch die wirksam werdenden seismischen Oberflächen-Beschleunigungen in horizontaler sowie vertikaler Richtung verursacht werden und natürlich bauartenabhängig sind. In Europa und in den USA haben sich zur Klassifizierung des seismischen Risikos baulicher Anlagen heute 12-stufige Intensitätsskalen durchgesetzt, während in Japan die 7-stufige Skala des dortigen meteorologischen Dienstes angewendet wird [Wakabayashi, 1986].

Lange Zeit fand in Europa die (12-stufige) MEDWEDEW-SPONHEUER-KARNIK-Skala (MSK-Skala) Anwendung. Aus dieser ist die derzeit in Europa favorisierte EUROPEAN MACROSEISMIC SCALE EMS [Grünthal, 1998], vor allem durch Berücksichtigung neuerer bautechnischer Entwicklungen, hergeleitet worden. In den USA ist die MODIFIZIERTE-MERCALLI-Skala verbreitet, während in Japan die (7-stufige) JMA-Skala verwendet wird. In Italien wurde Ende des 19. Jahrhunderts die 10-teilige ROSSI-FOREL-Skala als RF-Skala entwickelt.




| EMS - Intensität | Merkmale | Maximalbeschleunigung |
|---|---|---|
| 1 (I) | nicht fühlbar | |
| 2 (II) | kaum bemerkbar | |
| 3 (III) | bemerkbar | |
| 4 (IV) | deutlich | < 0.03 g |
| 5 (VI) | stark | < 0.03 g |
| 6 (VI) | leichte Gebäudechäden | 0.03 ÷ 0.10 g |
| 7 (VII) | Gebäudeschäden | 0.10 ÷ 0.20 g |
| 8 (VIII) | schwere Gebäudeschäden | 0.20 ÷ 0.40 g |
| 9 (IX) | zerstörend | 0.40 ÷ 0.80 g |
| 10 (X) | sehr zerstörend | 0.80 ÷ 1.50 g |
| 11 (XII) | verwüstend | > 1.50 g |
| 12 (XII) | vollständig verwüstend | > 1.50 g |

**Abbildung 8.3.2.3**: Zuordnung makroseismischer Intensitätsskalen sowie von EMS 98-Merkmalen zu max. Bodenbeschleunigungen [DIN 4149, A]

**Abbildung 8.3.2.3** vergleicht im oberen Teil die verschiedenen heute im Gebrauch befindlichen makroseismischen Intensitätsskalen und gibt gleichzeitig im unteren Teil Korrelationen der EMS-Intensitäten I mit menschlichen Wahrnehmungen bzw. Schadensauswirkungen an Gebäuden wieder. Die Landkarte auf Abbildung **8.3.2.4** des Geo-Forschungszentrums Potsdam weist die Deutschland-weite Verteilung dieser EMS-Intensitäten aus und liefert damit einen ersten Einblick in die seismische Gefährdung unseres Landes. (Das Schadenspotenzial der Intensität VIII entspricht in etwa dem der Hiroshima Atombombe.)

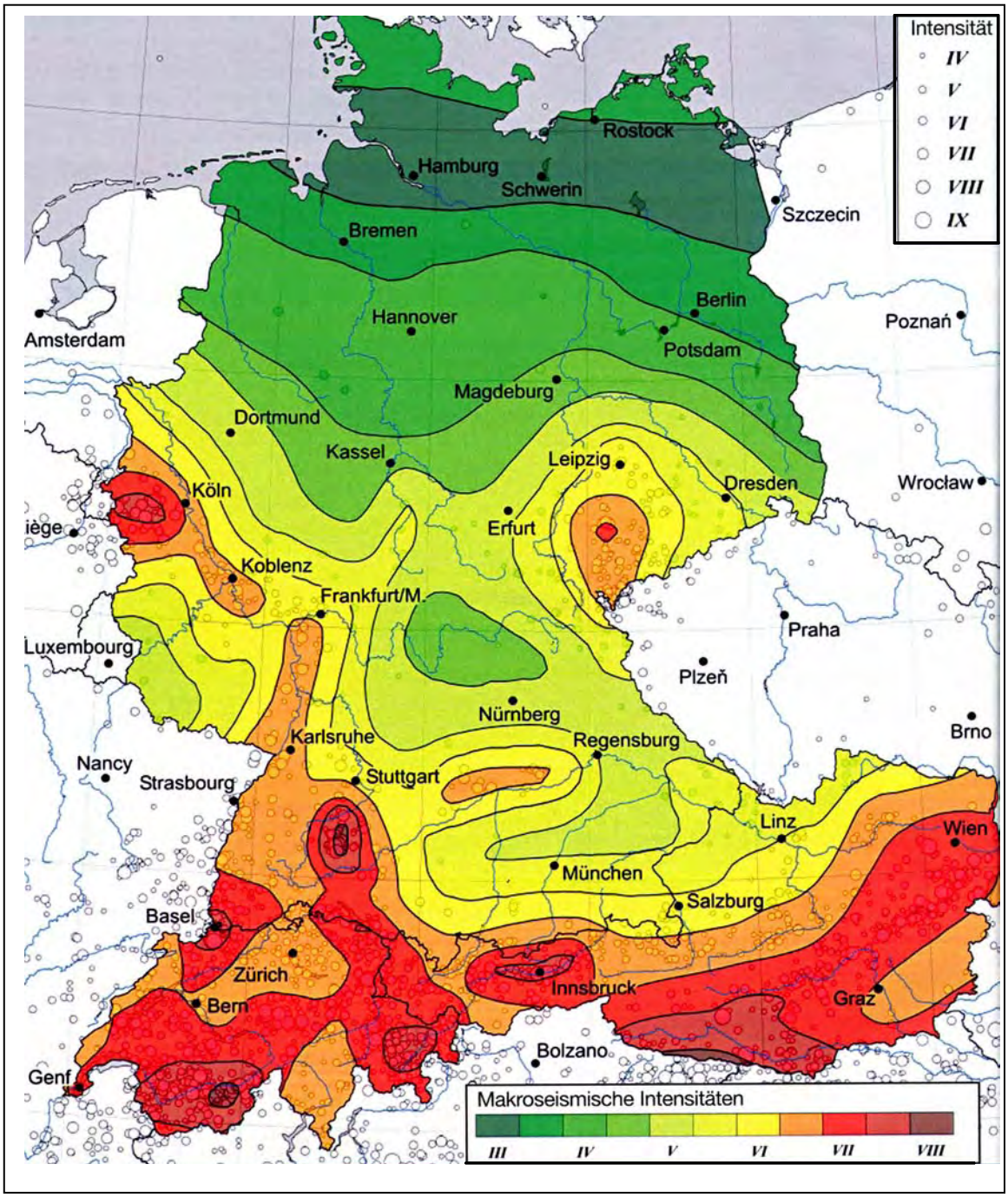



**Abbildung 8.3.2.4**: Karte der EMS-Intensitäten (Geo-Forschungszentrum Potsdam)

Abbildung 8.3.2.3 ordnet diesen EMS-Intensitäten maximal auftretende Bodenbeschleunigungen zu [DIN E 4149 (04/2005); Grünthal, 1998], dem für das Erdbebeningenieurwesen wichtigsten Parameter.

Aus Abbildung 8.3.2.4 lässt sich ablesen, dass in Deutschland drei Landschaften mit jeweils gleich hoher EMS-Intensität VII+ existieren: Der Raum südlich von Stuttgart, das deutsch-schweizerische Grenzgebiet um Basel sowie ein Gebiet zwischen Köln

und Aachen. Insbesondere die zwischen Köln und Aachen lebenden Menschen sind sich ihres seismischen Risikos nach Erfahrungen der Verfasser kaum bewusst.

Die während eines Bebens möglicherweise maximal auftretende Bodenbeschleunigung gibt natürlich allein keine erschöpfende Auskunft über die seismische Gefährdung eines Standorts. Zur Abschätzung möglicher Erdbebenschäden bzw. zur seismischen Sicherheitseinstufung und damit Schadensabwehr sind statistische Aussagen über die jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten von Beben mit vorgegebenen Intensitäten erforderlich. Dieses ist der große Schwachpunkt der gesamten Gefahrenabwehr im Erdbebeningenieurwesen. Bedeutende seismische Ereignisse treten (glücklicherweise) in vielen bewohnten Gebieten unserer Erde nur äußerst selten auf, oft sind sie nur aus geschichtlichen Ereignissen bekannt und daher weit von einer eindeutigen Quantifizierbarkeit entfernt. Anders als im Windingenieurwesen mit erinnerbaren Schadenshäufigkeiten sind bemessungsrelevante seismische Ereignisse mit viel kleineren Auftretenswahrscheinlichkeiten und daher größeren statistischen Ungenauigkeiten behaftet. Deshalb darf in den Normen des Bauwesens seismischen Einwirkungen stets mit geringeren Sicherheiten begegnet werden.

Diese geringeren Sicherheiten dürfen keinesfalls als eine „amtliche“ Geringschätzung des seismischen Risikos interpretiert werden; sie berücksichtigen lediglich die geringere Schadenshäufigkeit, bezogen auf die mittlere Lebensdauer eines Bauwerks von ungefähr 50 Jahren. Auch die geringeren Sicherheitsmargen sind noch so hoch, dass der Primat des Personenschutzes bei einem Beben stets erfüllt wird.

Seismische Gefährdungsanalysen bilden die Grundlage jeder seismischen Sicherheitsbetrachtung technischer Anlagen und Strukturen. Wegen des weltweiten Trends zur Bildung von Megastädten stellen derartige Analysen eine interdisziplinäre Herausforderung dar [Fuchs u. Wenzel, 2000]. Sie können sowohl auf deterministischer Basis (deterministic seismic hazard analysis) als auch auf probabilistischer Grundlage (probabilistic seismic hazard analysis) erstellt werden [Reiter, 1990; Meskouris u. Hinzen, 2003]. Für die Standardfälle des Bauwesens in Deutschland ist die Gefährdungsanalyse im Kapitel 5 der DIN 4149 (04/2005) in für übliche seismische Risiken ausreichend grober Zonierung vorweggenommen worden. Für Anlagen mit besonderem Gefährdungspotenzial (kerntechnische Anlagen, chemische Produktionsbetriebe) könnten diese Angaben durch Mikrozonierung höher aufgelöst werden, ein allerdings wenig empfehlenswertes Vorgehen (siehe Abschnitt 8.7.3.4).

Für die seismische Beanspruchung von Tragwerken wichtige Parameter sind in Beschleunigungs-Zeitverläufen von Beben enthalten, die durch Seismographen auf-

gezeichnet werden: Bebendauer, Frequenzgehalt, seismische Energie, Starkbebendauer. Alle diese charakteristischen Merkmale von Beben können im Einzelfall starken Schwankungen unterliegen. Als typische Beispiele zeigt Abbildung **8.3.2.5** zwei während des Montenegro-Erdbebens von 1979 aufgezeichnete Akzelerogramme, links die Ost-West-Komponente im Hotel Albatros in Ulcinj, rechts die gleiche Komponente des näher am Epizentrum gelegenen Hotels Oliva in Petrovac. Deutlich erkennt man den linken Beschleunigungsverlauf als Teil des rechten, der jedoch eine erheblich längere Bebendauer aufweist.

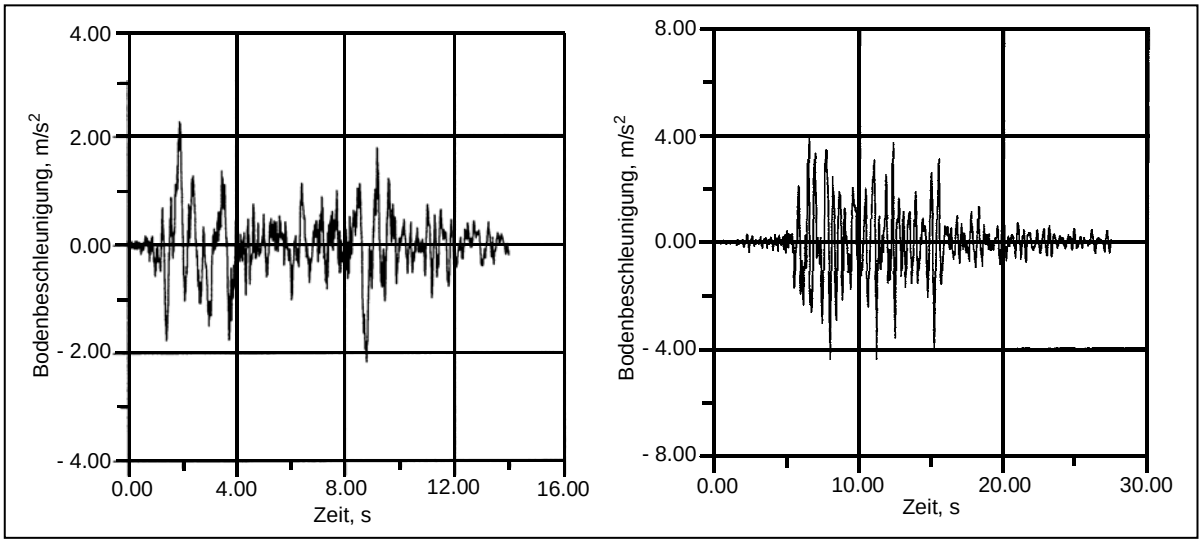



**Abbildung 8.3.2.5**: Beschleunigungszeitverläufe des Montenegro-Bebens 1979, Hotel Albatros in Ulcinj (links), Hotel Oliva in Petrovac (rechts)

Aus den Beschleunigungszeitverläufen ist unmittelbar der Größtwert PGA (Peak ground acceleration) der Bodenbeschleunigung abzulesen, ein wichtiger Entwurfsparameter für die seismische Gefahrenabwehr von baulichen Anlagen, das sogenannte a-seismische Konstruieren. Um die während eines Bebens an einem Standort dissipierte Energie abzuschätzen, verwendet man folgende Kenngrößen:

- den Effektivwert (RMS-Wert) der Bodenbeschleunigung:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{s}\int_{t=0}^{t=s} a^2 \, dt}$$

- und die Arias-Intensität AI:

$$AI = \frac{\pi}{2g} \int_{t=0}^{t=s} a^2 \, dt .$$

In beiden Integralausdrücken bezeichnet s die Bebendauer während der 5% - 95% Phase, a = a(t) den Beschleunigungszeitverlauf und g die Gravitationskonstante. Für die beiden Akzelerogramme auf der Abbildung 8.3.2.5 gewinnt man hieraus folgende Kennwerte des Bebens [Meskouris, 1999]:

| Akzelerogramm | PGA [m/s²] | AI [m/s] | Bebendauer 5% - 95% |
|---|---|---|---|
| Albatros | 2,29 | 0,68 | 9,7 s |
| Oliva | 4,43 | 4,46 | 10,6 s |

Zur quantitativen Erfassung der Bebenwirkungen auf ein Tragwerk stellen lineare seismische Antwortspektren ein hervorragendes Hilfsmittel dar. Lineare Antwortspektren für ein vorgegebenes Akzelerogramm a(t) = $\ddot{u}_g(t)$ werden als dessen Auswirkungen auf eine Serie von linearen Einmassenschwingern mit vorgegebener Dämpfung D und variabler Eigenkreisfrequenz $\omega_i$, Eigenfrequenz $f_i$ oder Eigenperiode $T_i$ (zwischen ca. 0.01s und ca. 100s) gewonnen. Diese Einmassenschwinger werden nacheinander der Fußpunkterregung $-\ddot{u}_g(t)$ unterworfen. Die zugehörige Bewegungsgleichung

$$\ddot{u} + 2D\omega_i \dot{u} + \omega_i^2 u = -\ddot{u}_g(t)$$

wird i.a. mittels des DUHAMEL-Integrals gelöst, und die maximale Auslenkung dieses Einmassenschwingers i (mit der Kreisfrequenz $\omega_i$), relativ zu seinem sich verschiebenden Fußpunkt, bestimmt: $u_{i\,max} = S_{d\,i}$. Diese $S_{d\,i}$- Werte stellen bereits unmittelbar die Verschiebungs-Spektral-ordinaten (Index d: displacement) dar. Mit der Annahme harmonischer Funktionen werden zugehörig zu $S_d$ sodann Spektralordinaten $S_v$ für die (Pseudo-) Geschwindigkeiten $\dot{u}$ (Index v: velocity) und $S_a$ für die (Pseudo) Beschleunigungen $\ddot{u}$ (Index a: acceleration) eingeführt:

$$S_d = S_v / \omega_i = S_a / \omega_i^2 .$$

Die Vorsilbe „Pseudo“ wurde von den Berichterstattern hinzugefügt, um deutlich zu betonen, dass es sich hierbei nicht um maximale Geschwindigkeiten und Beschleuni-

gungen eines Bebens handelt, sondern lediglich um die aus gemessenen, maximalen Verschiebungen unter Annahme eines hypothetischen harmonischen Schwingungsprozesses ermittelte Werte.

Derartige Maßstabsverschiebungen besitzen den großen Vorteil, dass man nur mit einem einzigen Spektrum arbeiten muss, aus welchem die auftretenden Verschiebungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen abgeschätzt werden können. **Abbildung 8.3.2.6** zeigt die aus den Akzelerogrammen Albatros und Oliva der früheren Abbildung 8.3.2.5 berechneten Spektren in der international üblichen dreifach logarithmischen Darstellung.

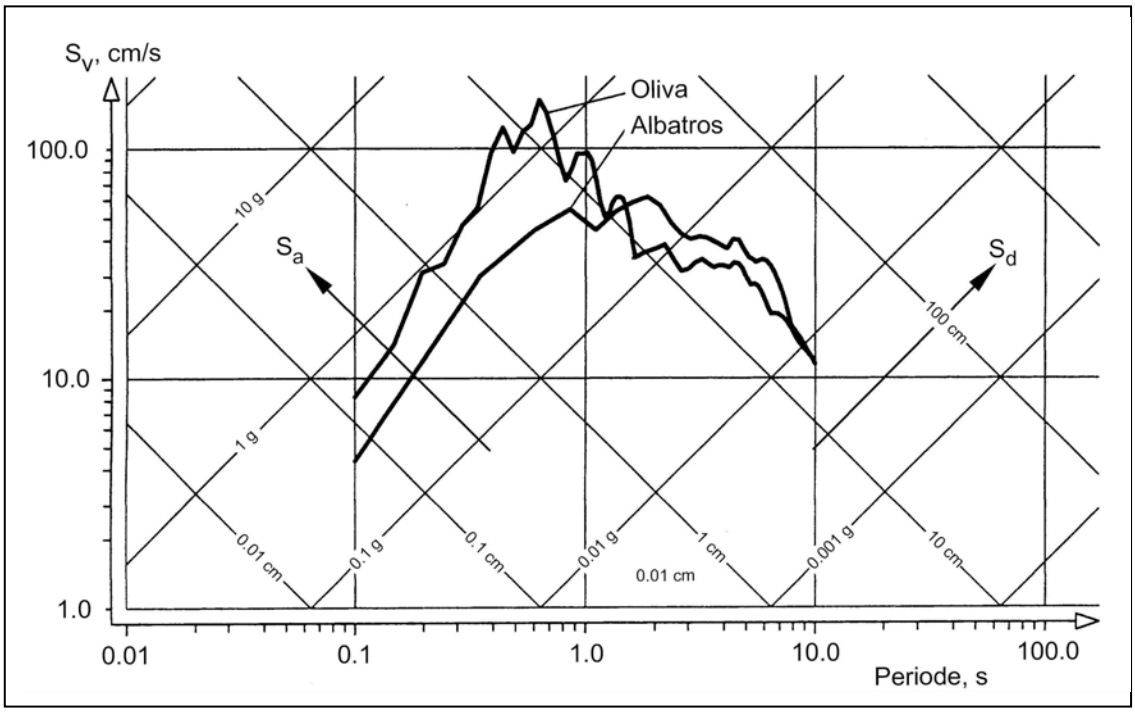



**Abbildung 8.3.2.6**: Dreifach logarithmische Darstellung der Spektren der Albatros- und Oliva-Akzelerogramme [Ghosh, 1997]

Um dem stochastischen Charakter von Erdbeben nahe zu kommen, werden zur Herleitung von Entwurfsantwortspektren in Normen möglichst je Standort mehrere gemessene Akzelerogramme herangezogen, in denen sich unterschiedliche seismische Herdcharakteristika und geologische Untergrundverhältnisse widerspiegeln sollten. Für jedes Akzelerogramm werden nun, wie in **Abbildung 8.3.2.7** dargestellt, die Systemantworten einer stetigen Schar linearer Einmassenschwinger $\omega_i$ und vorgegebener Dämpfung $\xi$ ermittelt. Durch Auftragen der maximalen relativen Auslenkung $u_{i\,max}$ jedes Schwingers, die natürlich zu verschiedenen Zeitpunkten auftreten, über der jeweiligen Eigenkreisfrequenz $\omega_i$ (oder Eigenperiode $T_i$) entsteht schließlich das der jeweiligen Erregung zugeordnete Verschiebungsspektrum $S_d$ ($\omega_i$, $\xi$).

Offensichtlich geht bei dieser Transformation von Akzelerogrammen in ein Frequenzspektrum die ursprüngliche Zeitinformation gänzlich verloren, was zu gewissen Superpositionsproblemen bei den im Bauwesen üblichen Vielmassenschwingern führen kann. Für Entwurfszwecke werden derartig ermittelte Spektren noch durch Bildung der Einhüllenden geglättet und auf einen geeigneten Bezugswert normiert, beispielsweise bei $T_i = 1$, wie im unteren Teil von Abbildung 8.3.2.7 angedeutet wurde [Krätzig u. Meskouris, 1990].

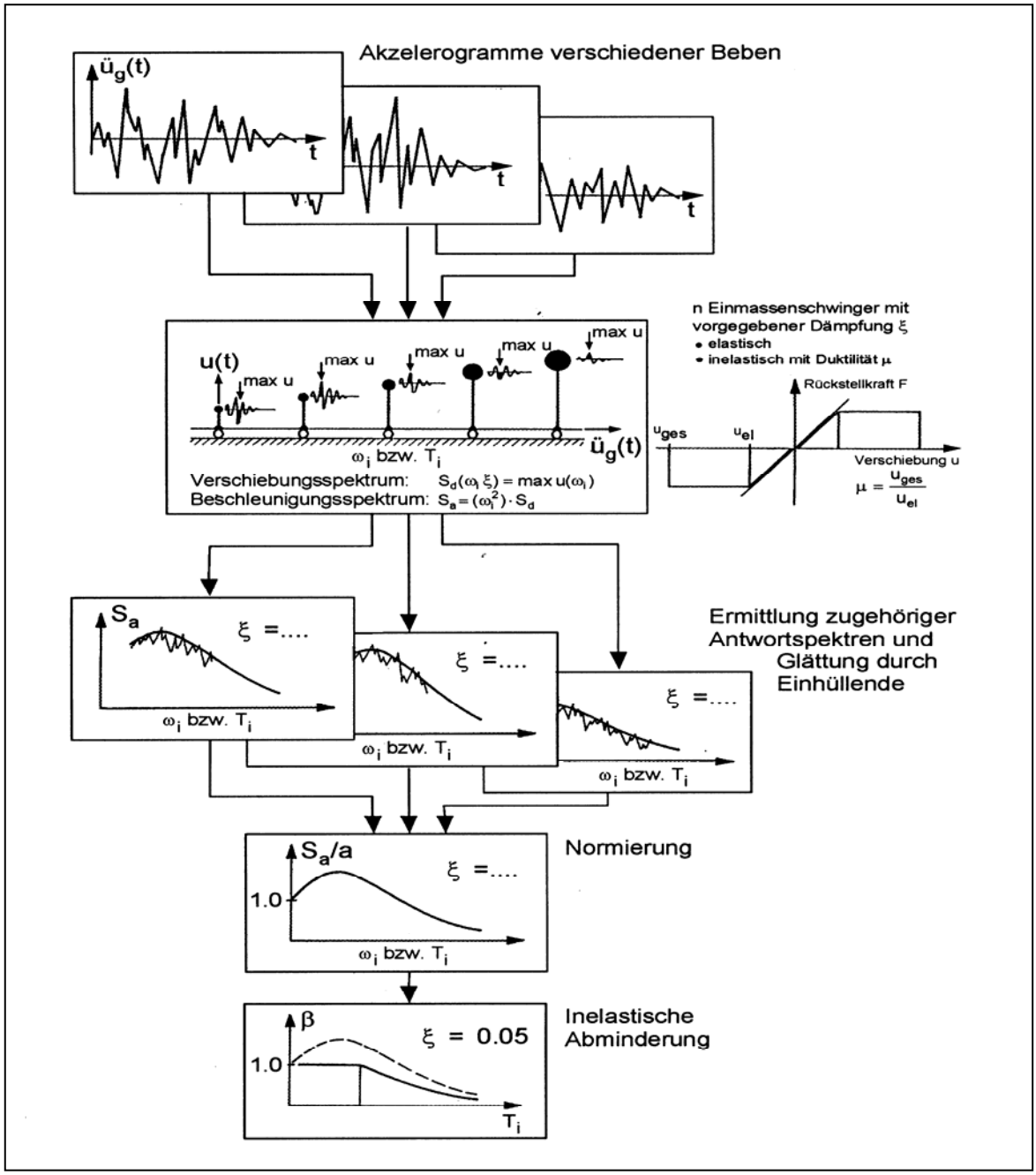



**Abbildung 8.3.2.7**: Ermittlung elastischer und inelastischer Normen-Entwurfsspektren

Oftmals werden noch unterschiedliche Baugrundklassen eines Standorts unmittelbar in diese Entwurfsantwortspektren eingearbeitet, wie in der erneut dreifach logarithmischen Darstellung auf **Abbildung 8.3.2.8** geschehen. Die dortigen NEWMARK-HALL-Spektren entstammen [Newmark u. Hall, 1973] und sind – in Modifikationen - über viele Jahre auf der ganzen Welt verwendet worden.

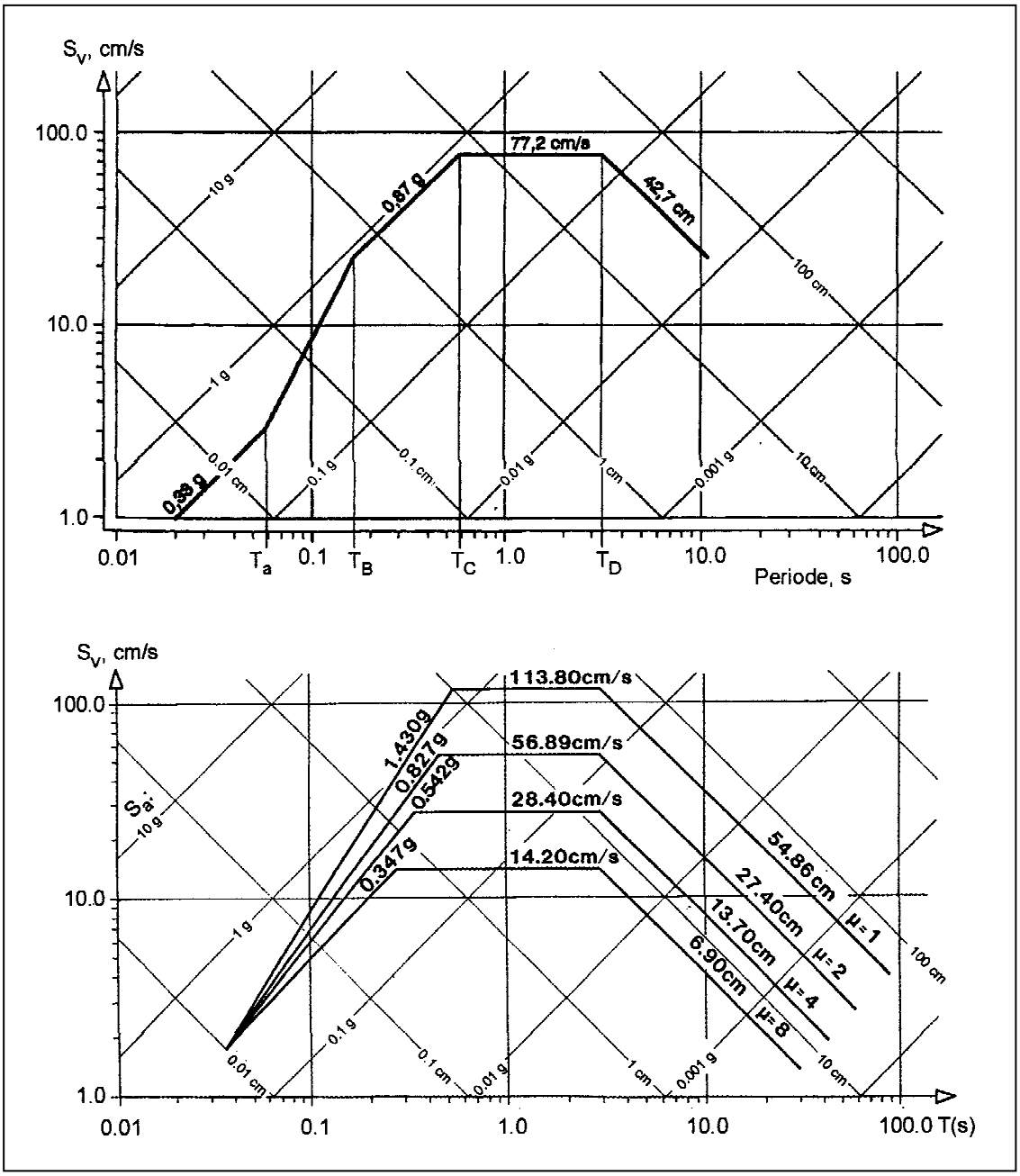



**Abbildung 8.3.2.8**: Elastische (oben) und inelastische Entwurfs-Antwortspektren (unten) nach NEWMARK-HALL

Die Erdbebensicherheit von Tragwerken wird nach heutigem Stand der Technik fast immer noch mittels linear elastischer Tragwerksmodellierungen nachgewiesen. Dagegen wird bei jedem Bebenereignis mit ausgeprägten Gebäudeschäden deutlich, dass die tatsächlich aktivierten Beanspruchungen bis weit in den inelastischen Baustoffbereich hinein erfolgten. Um diesem Widerspruch zu begegnen, kann man bei der Spektraltransformation auf Abbildung 8.3.2.7 auch elasto-plastische Einmassenschwinger mit vorgegebener Duktilität $\mu$ zugrunde legen. Bei diesen wird die Duktilität als Verhältnis der maximalen elasto-plastischen Gesamtverschiebung $u_{ges}$ zur elastischen Verschiebung $u_{el}$ eingeführt:

$$\mu = u_{ges} / u_{el}.$$

Diese Duktilität besitzt einen internen Längenmaßstab; sie kann für duktile stählerne Werkstoffe Werte bis $\mu = 10$ annehmen.

Abbildung 8.3.2.8 zeigt im unteren Teil eine Familie inelastischer Entwurfsantwortspektren des US Bureau of Standards, welche explizit das Duktilitätsmaß $\mu$ enthält. Die relative Dämpfung dieser Spektrenfamilie beträgt $\xi = 0{,}02$. Man erkennt in dieser dreifach logarithmischen Darstellung gut, dass Duktilitätseigenschaften der Transformationsschwinger offenbar zum Abschneiden von Spektralbereichen führen. Ist daher für eine bestimmte Entwurfsaufgabe ein Antwortspektrum vorgegeben, so kann dieses durchaus bereits verschiedenartige inelastische Abminderungen enthalten, ohne dass diese explizit genannt sein müssen.

Derartige inelastische Entwurfsspektren haben sich für übliche bauliche Anlagen durchaus bewährt, die nach einem seismischen Schädigungsereignis ggf. zu reparieren sind. Werden dagegen bei Anlagen von Betriebsbereichen durch zusätzliche betriebliche Sicherheitsanforderungen seismische Plastizierungen als unzulässig angesehen, so sind strengere Auslegungskonzepte anzuwenden. Das Performance-based Seismic Engineering weist hierfür moderne Wege, siehe Abschnitte 8.7.3.3 und 8.7.3.6.

## 8.3.3 Kurzübersicht über DIN 4149 (04/2005)

In diesem Kapitel wird eine Kurzübersicht über die neue DIN 4149 [DIN 4149 (04/2005)] aus der Sicht eines diese Vorschrift für eine seismische Gefährdungsanalyse anwendenden Entwurfsingenieurs gegeben.

### 8.3.3.1 Standard-Nachweisverfahren für linear elastische Tragwerke

Vor einem etwas detaillierteren Eingehen auf Einzelpunkte der DIN 4149 sollen kurz die drei Standardverfahren skizziert werden, die heute weltweit für seismische Sicherheitsanalysen linear elastischer Tragwerksmodelle baulicher Anlagen Verwendung finden. Dieses sind:

- das Antwortspektrumverfahren,
- das Verfahren der modalen Analyse,
- die direkte Zeitintegration.

Hierüber gibt **Abbildung 8.3.3.1.1** eine Übersicht. Den Ausgangspunkt bildet dort ein Mehrmassenschwinger, der durch n unabhängige Knotenfreiheitsgrade V als diskretes Tragwerk modelliert wurde. V, $\dot{V}$ $\ddot{V}$ bilden die zugehörigen Knotengeschwindigkeiten und Knotenbeschleunigungen. M kürzt die Massenmatrix ab, C die viskose Dämpfungsmatrix und K die elastische Steifigkeitsmatrix. Auf der rechten Seite vertritt r einen Spaltenvektor, der die Auswirkungen einer Einheitsverschiebung in der Tragwerksgründung auf jeden einzelnen Knotenfreiheitsgrad beschreibt. (Für ein ebenes Rahmenmodell, in welchem nur die horizontalen Knotenauslenkungen als Freiheitsgrade (master degrees of freedom) verwendet werden, ist r vollständig mit Elementen „Eins“ besetzt.) Die skalare Zeitfunktion $\ddot{u}_g = \ddot{u}_g(t)$ beschreibt die vorgegebene Fußpunkterregung des Bebens [Krätzig, u. Meskouris, 1990].

Wie bereits im Abschnitt 8.3.2 betont, liegt ein wesentliches Problem seismischer Gefährdungsanalysen im Zufallscharakter der Erregung. Weder das Akzelerogramm eines Bebens noch deren Intensität sind i.A. bekannt. Von allen drei in Abbildung 8.3.3.1.1 verglichenen Konzepten kommt das Antwortspektrumverfahren dem stochastischen Charakter von Erdbeben am nächsten, da seine Eingangsinformation, beispielsweise das elastische Entwurfsantwortspektrum der DIN 4149, aus einer Mehrzahl von gemessenen Akzelerogrammen entwickelt wurde. Der ursprüngliche n-Massenschwinger wird bei diesem Verfahren zunächst modal in n Einmassenschwinger zerlegt, wobei für jeden dieser Schwinger der seismische Beschleunigungsspektralwert $S_{a\,i}$ in Abhängigkeit von der Eigenkreisfrequenz $\omega_i$ bzw. der Eigenperiode $T_i$ dem Entwurfsspektrum entnommen werden kann.

Aus dem Modalwert $S_{a\,i}$ der seismischen Beschleunigungen lassen sich nun, wie auf Abbildung 8.3.3.1.1 angegeben, modale, quasi-statische Ersatzlasten $H_{Ei}$ bestimmen, dual zu den Knotenfreiheitsgraden $V_i$, und hieraus modale Zustandsgrößen $Z_i$ durch übliche statische Analysen.

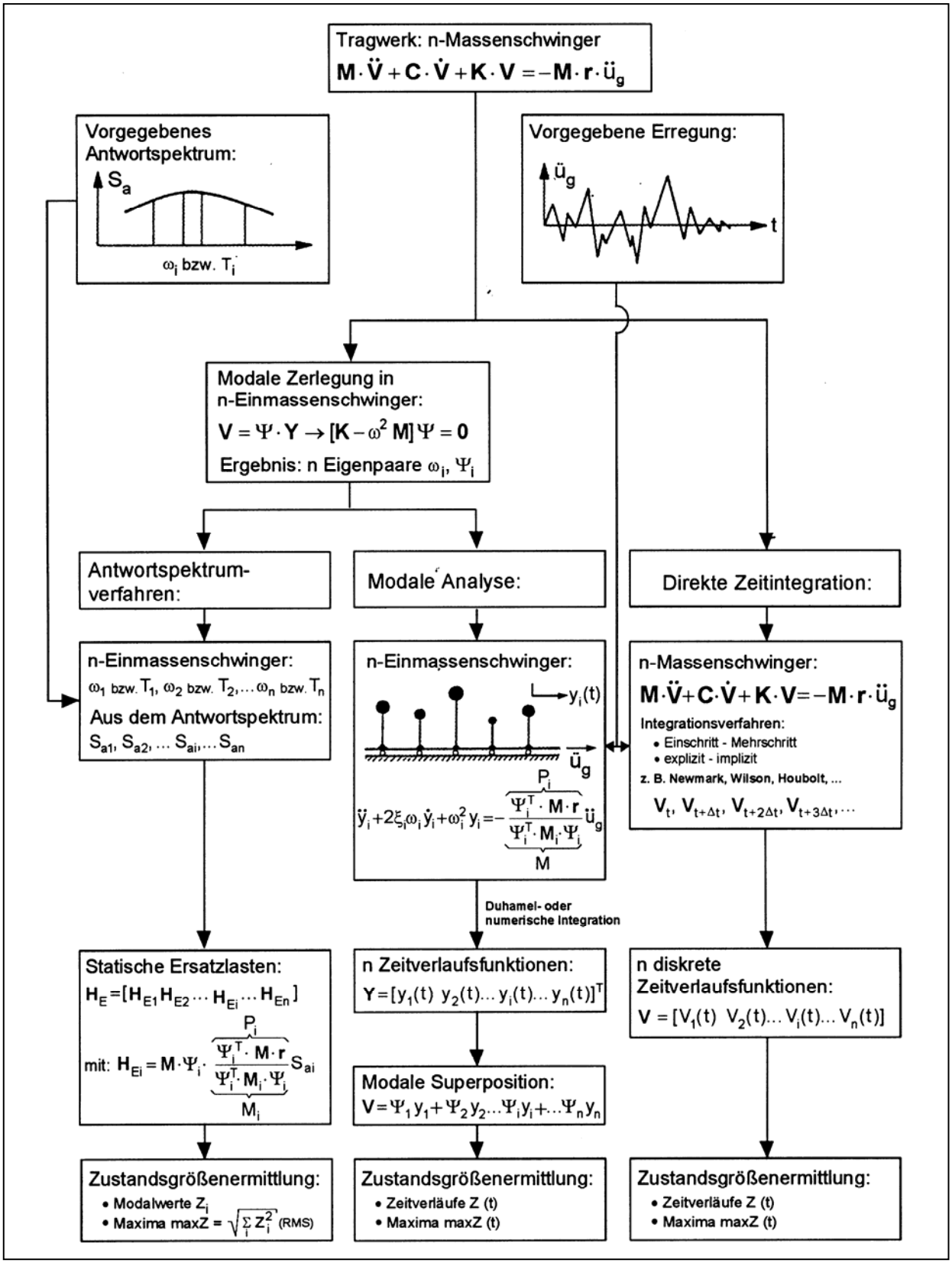



**Abbildung 8.3.3.1.1**: Standardverfahren für die seismische Sicherheitsanalyse linear elastischer Tragwerke

Da die einzelnen, dem Antwortspektrum entnommenen modalen Spektralwerte unterschiedlichen Zeitpunkten der seismischen Schwingung zuzuordnen sind, werden bemessungsrelevante Extremwerte der Zustandsgrößen mehrerer Modalformen i.a. nach der RMS-Überlagerung gebildet, wobei die Anzahl der berücksichtigten Modalbeiträge von der angestrebten Genauigkeit abhängt (Multimodale Analyse nach DIN 4149).

Bei der im Antwortspektrumverfahren anfangs auszuführenden modalen Entkopplung des n-Massenschwingers in n Einmassenschwinger wird für jede Schwingungs-Modalform $\Psi_i$ eine erregte modale Masse $M_i$ sowie eine modale Erregerkraft $P_i\ddot{u}_g$ betimmt. Hierbei bezeichnet $P_i$ den modalen Anteilsfaktor, der gemäß der jeweiligen Modalform $\Psi_i$ die Massen über den Vektor r an der seismischen Erregung beteiligt. Deshalb sind die dem Antwortspektrum zu entnehmenden Spektralordinaten $S_{a\,i}$ für die einzelnen Modalformen noch mit dem Faktor $P_i$ / $M_i$ zu korrigieren [Eibl u. Häussler-Combe, 1997]. Für den Vektor der Ersatzlasten entsteht so der Ausdruck

$$H_{E\,i} = M\ \Psi_i\ \frac{\Psi_i^T\ M\ r}{\Psi_i^T\ M\ \Psi_i}\ S_{a\,i}\,,$$

der in DIN 4149 nicht in Form innerer Matrizenprodukte, sondern als Summenformel enthalten ist.

Der Verlust des Zeiteinflusses im Antwortspektrumverfahren infolge der Spektraltransformation führt zu einer Wertereduktion der Ausgabeinformation, die zweifellos eine der Ursachen für die Beliebtheit des Verfahrens in der Ingenieurpraxis bildet. Ähnliche Reduktionsmöglichkeiten existieren bei den beiden anderen Vorgehensweisen, derjenigen der modalen Analyse und derjenigen der direkten Zeitintegration, nicht. Beide basieren nach Abbildung 8.3.3.1.1 auf seismischen Beschleunigungszeitverläufen $\ddot{u}_g = \ddot{u}_g(t)$ als Eingangsinformation.

Das direkte Zeitintegrationsverfahren generiert mittels numerischer Zeitintegrationsalgorithmen [Bathe u. Wilson, 1976; Bathe, 1982; Zienkiewicz, 1989] diskrete Zeitreihen der unabhängigen, oftmals kondensierten Knotenfreiheitsgrade V des Tragwerksmodells zu bestimmten Zeitpunkten t, $t+\Delta t$, $t+2\Delta t$, $t+3\Delta t$, ... der Integration, aus welchen diskrete Zeitverlaufsfunktionen V(t) aller Freiheitsgrade herleitbar sind. Hieraus können erneut Zeitverläufe aller Zustandsgrößen $Z_i(t)$ des Tragwerksmodells berechnet werden, deren bemessungsrelevante Extremwerte sodann einer seismischen Sicherheitsanalyse zugrunde gelegt werden können.

Das Verfahren der modalen Analyse schließlich zerlegt zunächst den n-Massenschwinger ebenso wie das Antwortspektrumverfahren in eine Gruppe von n Einmassenschwingern, schließt jedoch nach Abbildung 8.3.3.1.1 die Erregung in diese Zerlegung mit ein. Nach Annahme eines diese Zerlegung unterstützende Dämpfungsmodells werden sodann die einzelnen modal erregten Einmassenschwinger analytisch oder numerisch integriert. Das Ergebnis sind n Zeitverlaufsfunktionen der Modalkoordinaten $y_i(t)$, i = 1, 2, ... n, die durch modale Superposition zu einer Zeitverlaufsfunktion der Ausgangsfreiheitsgrade V(t) zusammengefasst werden. Hieraus können wieder Zeitverläufe aller Zustandsgrößen $Z_i(t)$ berechnet werden, deren Extremwerte erneut einer seismischen Sicherheitsanalyse zugrunde gelegt werden.

Bewertet man die drei genannten Integrationsverfahren nach ihrem physikalischen Wahrheitsgehalt hinsichtlich des stochastischen Charakters jeder seismischen Tragwerkserregung, so fällt das Urteil eindeutig zugunsten des Antwortspektrenverfahrens aus. Jedem Entwurfs-Antwortspektrum liegt eine Vielzahl unterschiedlicher seismischer Erregungsverläufe zugrunde, so dass diesem Verfahren, trotz seiner deterministischen Form, ein stochastischer Charakter anhaftet. Dies ist auch der Grund, warum die DIN 4149 das Antwortspektrenverfahren eindeutig favoritisiert.

Natürlich kann man mit den beiden anderen Verfahren, demjenigen der modalen Analyse und dem der direkten Zeitintegration, ebenfalls dem seismischen Sicherheitsanalysen inherenten stochastischen Charakter nachkommen. In diesem Fall müsste man auf Methoden der stochastischen Mechanik zurückgreifen, oder – für eine Vielzahl verwandter, aber unterschiedlicher Erregungszeitverläufe – Monté-Carlo-Simulationen verwenden [Schueller, 2003]. Beides würde die Kosten für seismische Sicherheitsanalysen ins Unbezahlbare anwachsen lassen.

### 8.3.3.2 Erdbebensicherheitsnachweise nach DIN 4149 und Standardverfahren

DIN 4149 (04/2005) gibt im Abschnitt 5.4 elastische Entwurfsantwortspektren $S_{a\,i}$ der Bodenbeschleunigungen für die Anwendung des Antwortspektrumverfahrens an. Mit diesen und den Regelungen ihrer Abschnitte 6.2.2 und 6.2.3 zur Tragwerksberechnung ist sie damit weitgehend auf das Antwortspektrumverfahren als Standardvorgehensweise hin ausgerichtet. Will man mit einem der beiden anderen Verfahren im Zeitbereich arbeiten, was beispielsweise für werkstofflich-nichtlineare

Schädigungsanalysen als der direkte Weg erscheint, so muss man sich zunächst einmal künstliche, spektrum-kompatible Akzelerogramme [Meskouris et.al., 1988] als Eingangsinformation generieren. Dies kann durch zeitabhängige Filterung eines Prozesses von weißem Rauschen erfolgen. Um dabei den stochastischen Charakter der Erdbebenerregung zu betonen, sollten im Zeitbereich ausgeführte seismische Gefährdungsanalysen stets für mehrere künstliche Erregungen unterschiedlicher Erdbebencharakteristika durchgeführt werden.

Abbildung 8.3.3.1.1 überblickend liegt ein besonders schwerwiegender Nachteil aller drei Standardverfahren in der durchgehenden Annahme linear elastischen Tragwerksverhaltens begründet. Wie unzählige dokumentierte Gebäudeschäden belegen, hinterlassen hinreichend starke Beben an Baukonstruktionen große inelastische Schädigungen [Bachmann, 1995; Krätzig u. Meskouris, 1997; Krätzig, 1990] von einzelnen Traggliedern**.** Daher hängt die Erdbebenresistenz von Tragwerken entscheidend von der konstruktionsbedingten Kontrolle lokal aktivierter Schädigungsprozesse durch aktivierbare Duktilitäten ab, ihrer Duktilität. Keines der in Abbildung 8.3.1.9 beschriebenen Verfahren vermag jedoch derartige Schädigungsprozesse zu beschreiben, weshalb die Vorschrift DIN 4149 in über 40 (von 88) Seiten ergänzende Konstruktionsanleitungen zur seismischen Schädigungsvermeidung bereithält. Will man elastoplastisches Baustoffverhalten mechanisch korrekt behandeln, so muss man die dann nichtlineare Bewegungsgleichung des n-Massenschwingers auf Abbildung 8.3.3.1.1 (mitte rechts) inkrementell-iterativ integrieren. Derartige Vorgehensweisen sind in der tragwerksdynamischen Forschung heute Standard [Krätzig, 1997], in der Anwendungspraxis nicht.

Basierend auf der Annahme elastischer Tragwerksmodellierungen verkehren alle Verfahren der Abbildung 8.3.3.1.1 und insbesondere auch die DIN 4149 die korrekte Fragestellung nach der Zulässigkeit aktivierter inelastischer Schädigungen während eines Bebens in eine solche nach Sicherheitsreserven im auftretenden Spannungszustand, was völlig an der beobachteten Realität vorbei geht und wissenschaftlich somit kaum haltbar erscheint [Krätzig u. Meskouris, 1997], aber internationaler Baupraxis entspricht. Ein Performance-based Seismic Design, siehe Abschnitt 8.7.3.4, liefert den Schlüssel für das korrekte Vorgehen [Harte u. Krätzig, 2005].

### 8.3.3.3 Seismisches Gefährdungspotenzial gemäß DIN 4149

DIN 4149 beschreibt das seismische Gefährdungspotenzial der Bundesrepublik Deutschland in drei Stufen, wie auf Abbildung **8.3.3.3.1** übersichtlich dargestellt:

- den Erdbebenzonen 0, 1, 2 und 3,
- den geologischen Untergrundklassen A, B und C sowie
- den Baugrundklassen 1, 2 und 3.

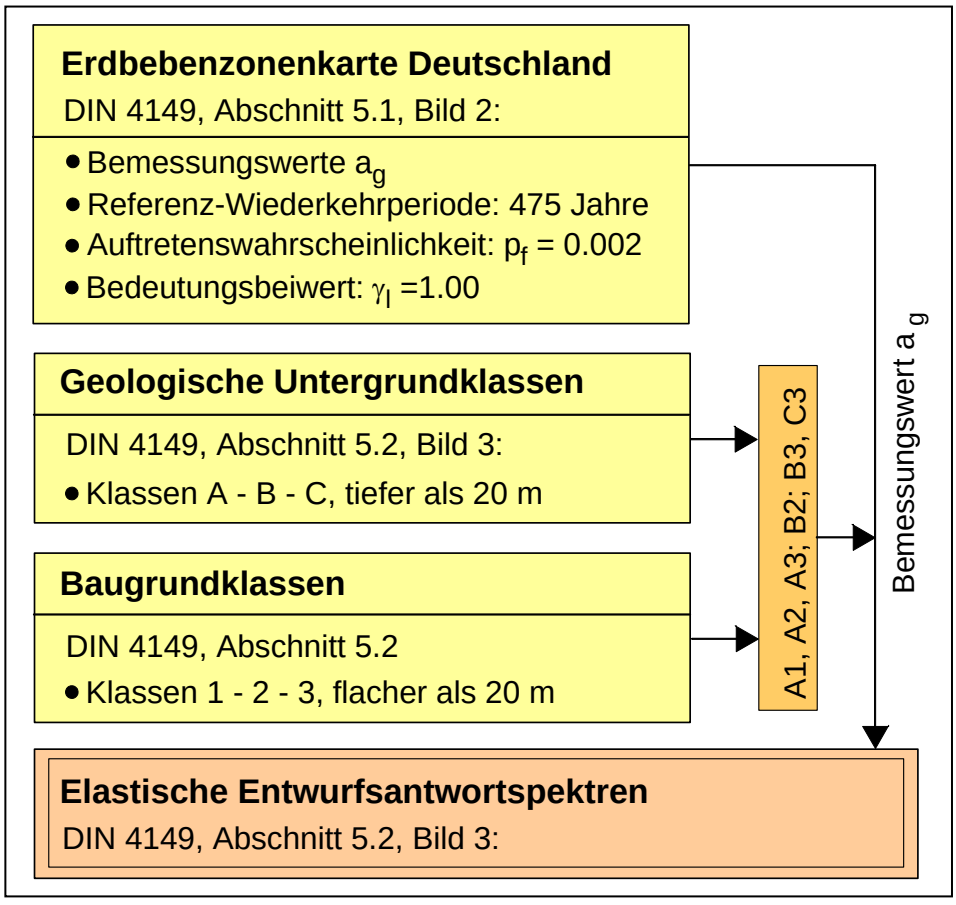



**Abbildung 8.3.3.3.1**: Seismische Gefährdungsermittlung nach DIN 4149

Die Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland, dargestellt auf der aus DIN 4149 (04/2005), Bild 2, übernommenen **Abbildung 8.3.3.3.2**, sind gemäß untenstehender Tabelle mit EMS-Intensitäten verknüpft. In den meisten Gebieten Deutschlands existiert demnach keine nennenswerte seismische Gefährdung für Bauwerke.

| Erdbebenzone: | EMS-Intensitätsintervalle<br>Bemessungswert $a_g$ [m/s$^2$] | |
|---|---|---|
| 0 | $6,0 \leq I < 6,5$ | 0,00 |
| 1 | $6,5 \leq I < 7,0$ ($I_{ref} = 6,25$) | 0,40 |
| 2 | $7,0 \leq I < 7,5$ $I_{ref} = 7,00$) | 0,60 |
| 3 | $7,5 \leq I \leq 8,0$ ($I_{ref} = 7,50$) | 0,80 |

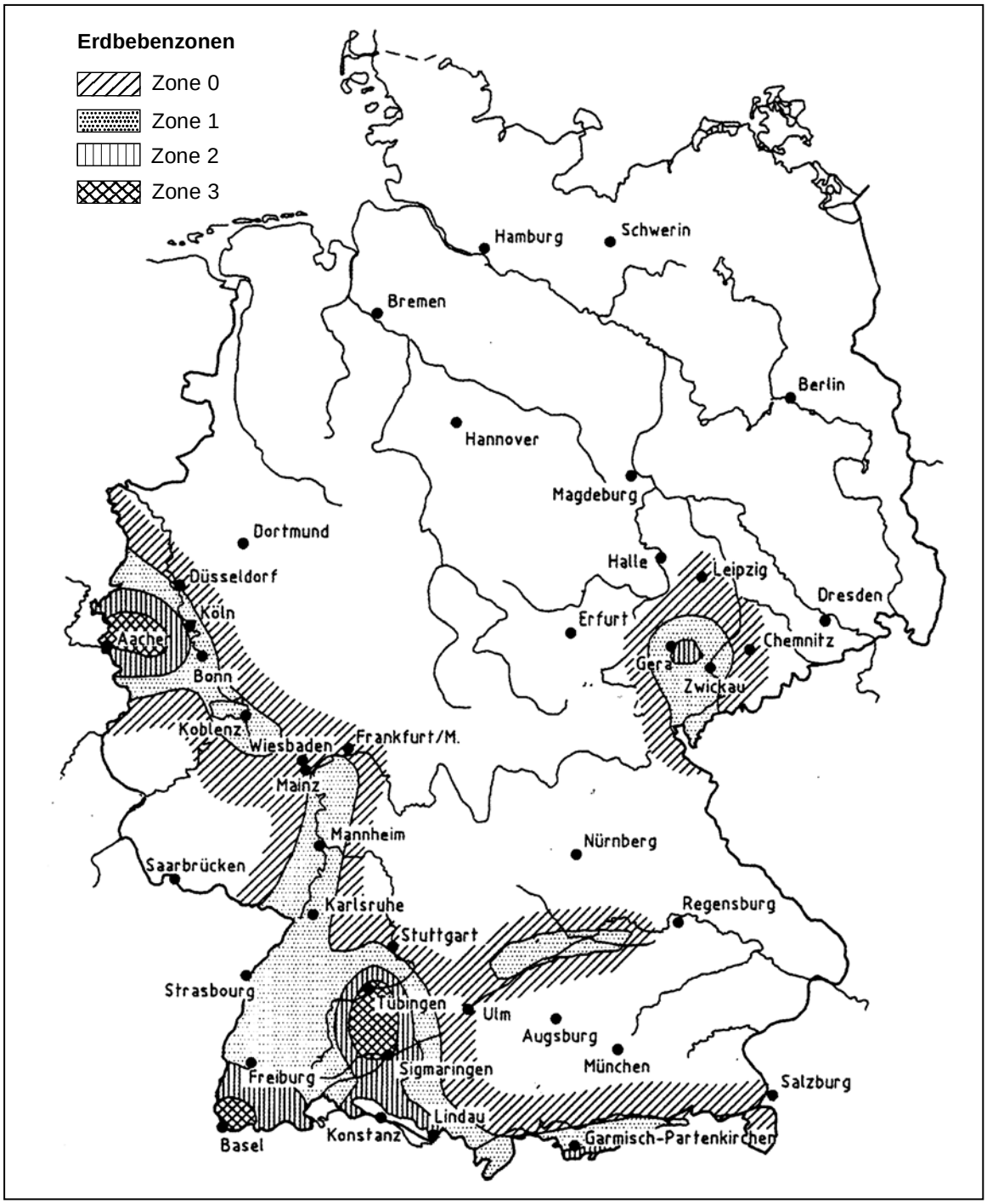



**Abbildung 8.3.3.3.2**: Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland nach DIN 4149 (04/2005)

Die Gefährdung innerhalb jeder Erdbebenzone wird als einheitlich angesehen, abgesehen von Variationen infolge unterschiedlicher Bodenverhältnisse. Die Referenzwiederkehrperiode, für welche die Erdbebenzonen-Gefährdungskarte erstellt wurde, beträgt 475 Jahre; dem entspricht eine jährliche Auftretens- oder Überschreitenswahrscheinlichkeit von $\approx$ 0,10 in 50 Jahren gemäß $p_f$ = 0,002. Dieser Referenzwiederkehrperiode wird ein Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$ = 1,00 nach DIN 4149 (04/2005), 5.2 zugeordnet. Man erkennt auch hier wieder sofort die starke seismische Gefährdung im Städtedreieck Düsseldorf-Aachen-Bonn in NRW.

Als zonenspezifischer seismischer Einwirkungsparameter gilt ein Bemessungswert der Bodenbeschleunigung $a_g$, der den EMS-Intensitäten der einzelnen Erdbebenzonen nach folgender Tabelle [DIN 4149 (04/2005)], zugeordnet ist und als Grundlage für seismische Sicherheitsnachweise zu verwenden ist:

Abhängig von den geologischen Untergrund- und Baugrundverhältnissen können bekanntlich die Wellen eines seismischen Ereignisses verstärkt oder abgeschwächt werden, was jedes seismische Gefährdungsszenario zu berücksichtigen hat. DIN 4149 definiert daher im Abschnitt 5.2 in den Erdbebenzonen 1 bis 3 drei geologische Untergrundklassen, die in der aus DIN 4149, Bild 3, übernommenen **Abbildung 8.3.3.3.3** wiedergegeben sind. Ab etwa 20 m Tiefe wird demnach unterschieden:

- Untergrundklasse R: Gebiete mit felsartigem Gesteinsuntergrund,
- Untergrundklasse T: Übergangsgebiete zwischen A und C mit flachen Sedimenten,
- Untergrundklasse S: Tiefe Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung.

In den Untergrundklassen nimmt die Scherwellengeschwindigkeit von A nach C kontinuierlich ab. Nähere Angaben hierzu enthält DIN 4149 nicht. Außerdem werden in DIN 4149 folgende Baugrundverhältnisse im Oberflächenbereich bis zu 20 m Tiefe unterschieden:

- Baugrundklasse A: Feste bis mittelfeste Gesteine,
- Baugrundklasse B: Lockergesteine, wie Kies, Grobsand oder Mergel,
- Baugrundklasse C: Feinkörnige Lockergesteine wie Feinsand oder Löß.

Dieser obere Teil des Untergrundes beeinflusst die Geschwindigkeit sowohl der Scher- als auch Kompressionswellen erheblich. Sollten als Baugrund unkonsolidierte

Ablagerungen mit Scherwellengeschwindigkeiten von $v_s \leq 150$ m/s$^2$ auftreten, und sind die Abmessungen der baulichen Anlage groß, so verliert die Gesamtklassifizierung der DIN 4149 ihre Gültigkeit, da dann die Gefahr nicht-kohärenter (zeitlich nicht-synchroner) Fußpunkterregungen der Tragwerke besteht, die erheblicher Sonderbehandlungen bedürfen.

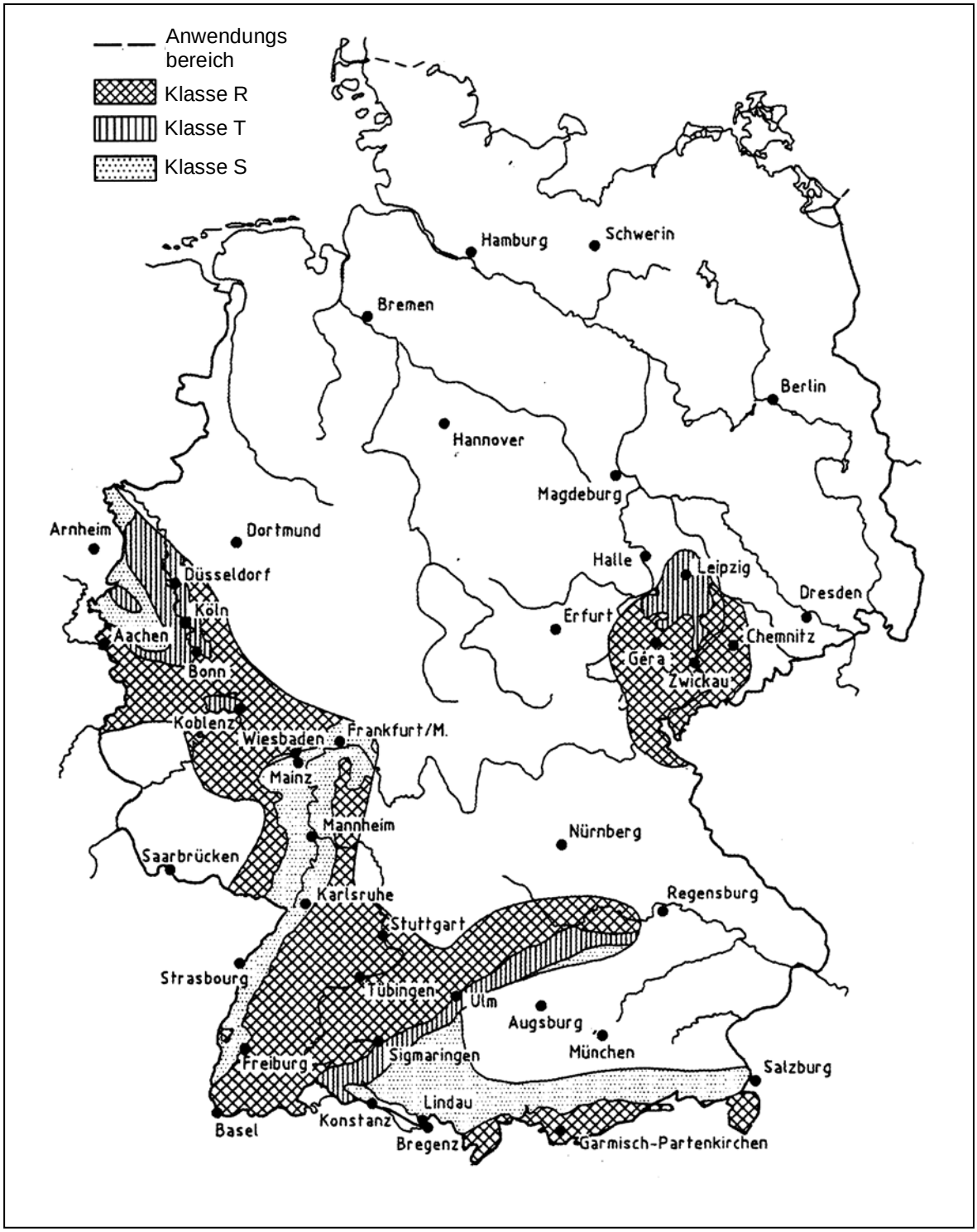



**Abbildung 8.3.3.3.3**: Geologische Untergrundklassen der Erdbebenzonen

Die Gefahr, die von lokalen geologischen Becken mit unkonsolidierten Ablagerungen ausgeht, wird häufig unterschätzt. Hierdurch können die auf ein Bauwerk einwirkenden seismischen Lasten erheblich verstärkt werden, wie das Beben von Mexiko-City 1985 anhand vieler schwer geschädigter Bauwerke lehrte. Durch die Reduzierung der Scherwellengeschwindigkeit synchron mit der Scherwellenfrequenz kommt es zu Amplitudenerhöhungen, die das resultierende Erregungsspektrum des Bebens in ganz beträchtlichem Maße in Richtung der kritischen Eigenfrequenzen von Tragwerken verschieben können. Derartige Situationen vorbeugend zu erkennen, erfordert große Erfahrung beim a-seismischen Entwurf von baulichen Anlagen, wie sie wohl nur von in Erdbebengebieten versierten Bauingenieuren bereitgehalten wird.

### 8.3.3.4 Regeldarstellung der Antwortspektren in DIN 4149

Wie im Abschnitt 8.3.2 ausführlich dargelegt, kann die Erdbebenwirkung auf ein Bauwerk an einem vorgegebenen Standort durch Bodenbeschleunigungs-Antwortspektren beschrieben werden. DIN 4149 legt derartige Antwortspektren verbindlich fest, indem sie deren spektrale Kennwerte in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse in ihren Tabellen 4 und 5 vorhält. Dabei werden nach Abbildung 8.3.3.3.3 in Deutschland folgende Kombinationen von geologischem Untergrund und Bauwerks-Baugrund als existent betrachtet: A-R, B-R, C-R, B-T, C-T und C-S. Die beiden Grundspektren für horizontale bzw. vertikale Erdbebenwirkungen werden in DIN 4149 (04/2005), Abschnitt 5.4 als elastisches horizontales Antwortspektrum und elastisches vertikales Antwortspektrum bezeichnet, ihre generelle Form findet sich in **Abbildung 8.3.3.4.1** oben.

Ein elastisches Antwortspektrum in der Terminologie der DIN 4149 beschreibt die Tragwerkswirkungen, wenn diese bei Erdbeben vollständig im elastischen Bereich verbleiben und somit keinerlei Energie dissipieren. Wegen der unterschiedlichen Eigenschaften von RAYLEIGH- und LOVE-Wellen sind die Formen der Spektren für horizontale und vertikale Erregung unterschiedlich, und für letzteren Fall brauchen nur 70% des Bodenbeschleunigungs-Bemessungswertes der jeweiligen Erdbebenzone angesetzt zu werden. Diese elastischen Antwortspektren können als Basisspektren zur Ermittlung spektrenkompatibler Akzelerogramme verwendet werden.

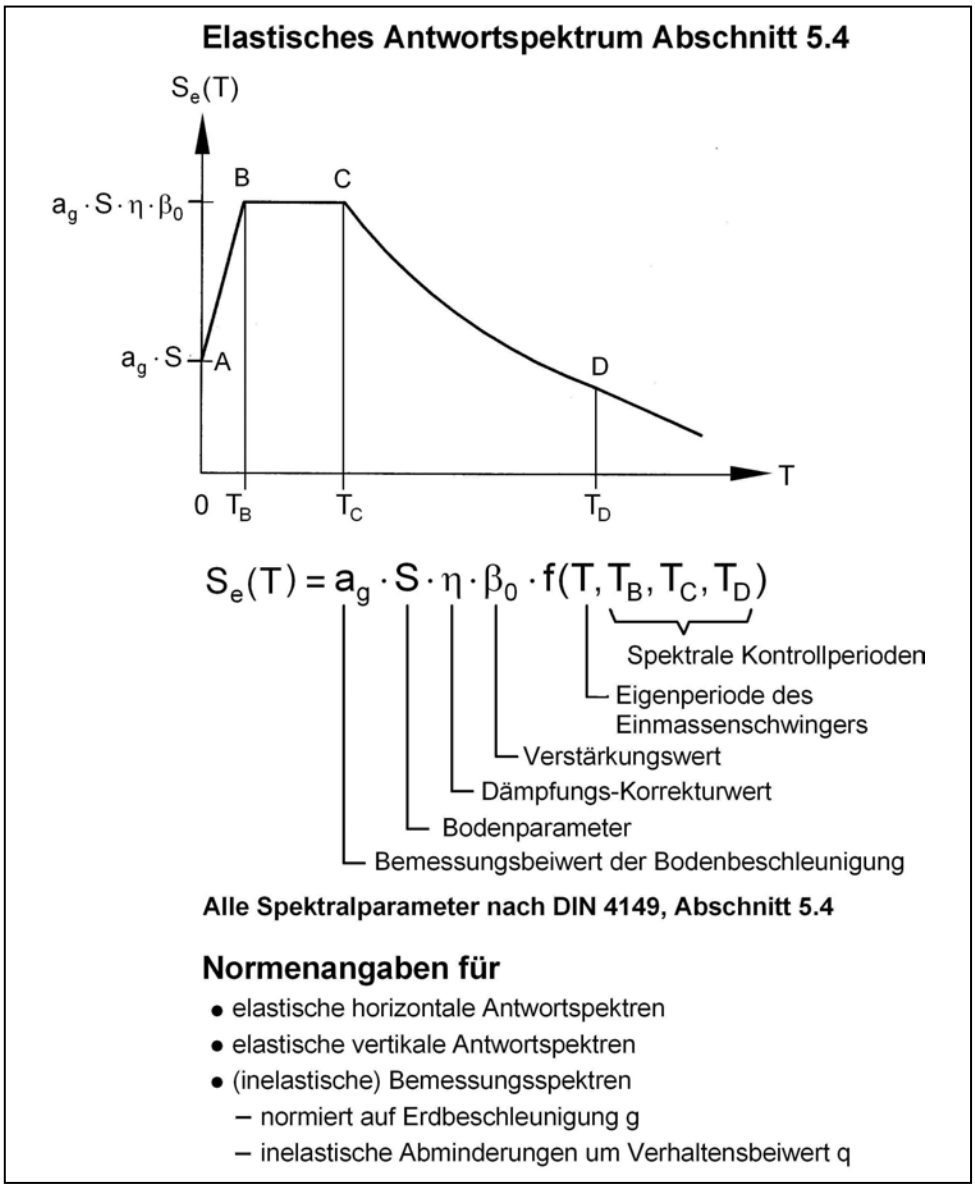



**Abbildung 8.3.3.4.1**: Verwendete Antwortspektren in DIN 4149

Dem Umstand, dass sich die von Erdbeben in ein Tragwerk eingetragene seismische Energie durch hysteretische Dissipation infolge inelastischer Tragwerksdeformationen teilweise reduziert, trägt DIN 4149 in den Abschnitten 5.4 durch Angabe der Parameter eines Bemessungsspektrums Rechnung. Damit soll dem Anwender die Möglichkeit geboten werden, ohne aufwendige nichtlineare Analysen wirtschaftlichere Bemessungsergebnisse als im elastischen Bereich zu erzielen. Die hierin eingebauten duktilitätsbegründeten Abminderungen gegenüber den elastischen Grundspektren werden jedoch nicht durch Duktilitätsfaktoren $\mu$ charakterisiert, sondern in Anlehnung an den Eurocode 8 durch Verhaltensbeiwerte q. Für letztere finden sich in den bauweisenabhängigen Abschnitten der DIN 4149 zahlreiche Vorgaben.

### 8.3.3.5 Schutzziele der DIN 4149

Die deutsche Erdbebennorm DIN 4149 (04/2005) gilt für Entwurf, Bemessung und Konstruktion von baulichen Anlagen des üblichen Hoch- und Ingenieurbaus. Durch ihre Festlegungen soll die seismische Widerstandsfähigkeit der betroffenen Bauwerke soweit angehoben werden, dass es im Fall auftretender Erdbeben nicht zum Versagen von Traggliedern kommt. Zweck aller Maßnahmen ist dabei in erster Linie der Personenschutz, um Leib und Leben der Bauwerksbewohner vor Schaden zu bewahren. In zweiter Linie gilt als Schutzziel die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit baulicher Anlagen, sofern diese für die Allgemeinheit von besonderer Bedeutung sind, beispielsweise Krankenhäuser, Kraftwerke, lokale Versorgungsinfrastruktur, Schulen, Computerzentren und Museen als Kulturgüter.

Ausdrücklich wird im Abschnitt 1 von DIN 4149 betont, dass von den in dieser Norm erfassten baulichen Anlagen bei Erdbebenschädigungen keine weiteren Gefahren ausgehen dürfen. Damit fallen alle baulichen Anlagen, von denen für die öffentliche Sicherheit ein erhöhtes Risiko ausgeht, wie z.B. kerntechnische Anlagen, chemische Produktionsanlagen, Lagerbehälter für giftige oder brennbare Flüssigkeiten u.ä., nicht in den Anwendungsbereich dieser Norm. Dies gilt sicherlich auch für große Ingenieurbauwerke, wie weitgespannte Brücken, Tunnel, Staudämme und wichtige Infrastruktureinrichtungen. Was in solchen Fällen an die Stelle der DIN 4149 treten soll, wird in der vorliegenden Norm ebenso wie in allen Bauordnungen der Bundesländer verschwiegen: Besonders sorgfältiges Detailkonstruieren auf der Grundlage erheblich vertiefter Kenntnisse des Erdbebeningenieurwesens.

DIN 4149 erwähnt nur an einer einzigen Stelle, nämlich im Abschnitt 5.3, Tabelle 3, dass man heute in modernen, auch zukünftigen Erdbebennormen im Sinne tragverhaltensgesteuerter seismischer Risiken (performance-based seismic engineering) immer mehr dazu übergehen wird, unterschiedlich gestaffelte Schutzziele in unserer bebauten Umwelt für die gleiche seismische Gefährdung vorzusehen [Meskouris et.al., 1988; SEI/ASCE, 2003]. In DIN 4149 erfolgt dies – in sehr abgeschwächter Form - durch Einführung eines Bedeutungsbeiwerts $\gamma_I$, der nur in der Begrenzung der Tragwerksauslenkungen Verwendung findet:

$$d_s = q * d_e * \gamma_I.$$

Hierin bezeichnen:

$d_s$ die Verschiebung eines Tragwerkspunktes infolge des Bemessungsbebens,
$d_e$ Verschiebung des gleichen Tragwerkspunktes, berechnet mittels des Berechnungsspektrums,
q Verhaltensbeiwert zur Berücksichtigung der inelastischen Duktilität,
$\gamma_I$ Bedeutungsbeiwert nach folgender Tabelle DIN 4149, Tabelle 3.

Für Hochbauten enthält DIN 4149 folgende Bedeutungskategorien und -beiwerte:

| Bedeutungskategorie: | Bauwerke: | Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$ |
|---|---|---|
| I | wichtig für den Schutz der Allgemeinheit | 1,4 |
| II | Widerstandsfähigkeit gegen Einsturz bedeutsam | 1,2 |
| III | gewöhnliche Bauwerke | 1,0 |
| IV | geringe Bedeutung für die öffentliche Sicherheit | 0,8 |

### 8.3.3.6 Bauweisenorientierte Zusatzregelungen

Aus vielen Dokumentationen großer Schadenserdbeben der letzten 50 Jahre haben die Bauingenieure heute gelernt, dass hinreichende Sicherheiten gegen seismische Schädigungen in hohem Maße von der konstruktiven Sorgfalt des Bauentwurfs und der Bauausführung abhängen. Daher enthält DIN 4149 in über 40 Seiten bauweisenorientierte Zusatzregelungen, die zusätzlich zu den Vorgaben der einschlägigen deutschen Fachnormen beim Bauen im Erdbebengebiet eingehalten werden müssen. Diese Regelungen beziehen sich auf

- Stahlbetonbauten im Abschnitt 8 der Norm,
- Stahlbauten im Abschnitt 9,
- Holzbauten im Abschnitt 10,
- Mauerwerksbauten im Abschnitt 11,
- Gründungen und Stützbauwerke im Abschnitt 12,

und schreiben teilweise sehr detaillierte spezifische Konstruktionsanweisungen vor, die oftmals nur dem mit Erdbebenrisiken vertrauten Fachmann verständlich sind.

Allen Bauweisen gemeinsam ist die Einteilung in Duktilitätsklassen 1 bis 3, wobei jeweils die letzte Klasse die höchsten Anforderungen an lokale Duktilitäten, d.h. an das Vermögen zur seismischen Energiedissipation, zu erfüllen hat. (Tragwerke mit hohem lokalem Energiedissipationsvermögen weisen immer zusätzliche seismische Sicherheiten gegenüber Tragwerken mit geringerer Dissipationsfähigkeit auf.) Für diese Duktilitätsklassen werden Mindestanforderungen an die zu verwendenden Werkstoffe definiert und für typische Bauteile oder Konstruktionsweisen zusätzliche Maßnahmen zur Duktilitätssteigerung beschrieben und gefordert. Insbesondere enthalten diese Abschnitte Angaben zu den im seismischen Gefährdungsnachweis zu verwendenden Verhaltensbeiwerten q, abhängig von der gewählten Duktilitätsklasse.

## 8.4 Ausgewählte Modellregion: Luftzerlegungsanlage der Linde AG in Stolberg

Sturm und Erdbeben bilden durch ihre möglichen Einwirkungen auf alle Tragkonstruktionen von Anlagenkomponenten in Betriebsbereichen und Anlagen in seismisch gefährdeten Gebieten für diese zusätzliche Gefährdungspotenziale. Um dieses mitlaufende Gefährdungspotenzial im Fall von Erdbeben näher zu analysieren, wurde der Betriebsbereich der Firma Linde AG in Stolberg zur Produktion von flüssigem Sauerstoff und Stickstoff sowie Argon als Modellregion im Gebiet der höchsten Erdbebenzone 3 der DIN 4149 (04/2005) im Raum Aachen ausgewählt.

Der Betriebsbereich besteht aus sicherheitstechnischer Sicht im Wesentlichen aus der Produktion von flüssigen Luftgasen in einer über 50 m hohen sogenannten Coldbox und der Lagerung von 800 t tiefkaltem flüssigem Sauerstoff sowie von tiefkaltem flüssigem Stickstoff und Argon. Diese isolierte Coldbox enthält die einzelnen Rektifikationskolonnen nebst Behältern zur Lufttrennung im tiefkalten Bereich und ist in einem Stahlgerüst untergebracht.

Aufgrund der Lagerung von flüssigem Sauerstoff mit 800 t fällt der Betriebsbereich unter die Grundpflichten der Störfall-Verordnung. Im Rahmen dieses Gutachtens wurde am Beispiel dieser Modellregion untersucht, inwieweit dem Gefährdungspotenzial Erdbeben Rechnung getragen wurde und ob prinzipielle Verbesserungen erforderlich waren.

## 8.4.1 Konstruktion

Die Coldbox der Luftzerlegungsanlage der Fa. Linde AG in Stolberg ist, wie die **Abbildung 8.4.1.1** zeigt, eine turmartige Stahlkonstruktion von insgesamt 52 m Höhe mit Grundrissabmessungen von 4,40 m x 3,80 m. Im unteren Bereich bis ca. 9 m Höhe betragen die Grundrissabmessungen 8,30 m x 3,80 m. Die tragende Konstruktion der Coldbox ist ein räumliches Rahmensystem mit insgesamt 6 Stützen im unteren Bereich. Der Turm wird von den beiden Randstützen und den Mittelstützen gebildet. Das Coldbox Fundament besteht aus einer 1,20 m dicken Stahlbetonplatte mit einer Grundfläche von 9 x 12 m.

**Abbildung 8.4.1.1**: Luftzerlegungsanlage in Stolberg – Gesamtansicht

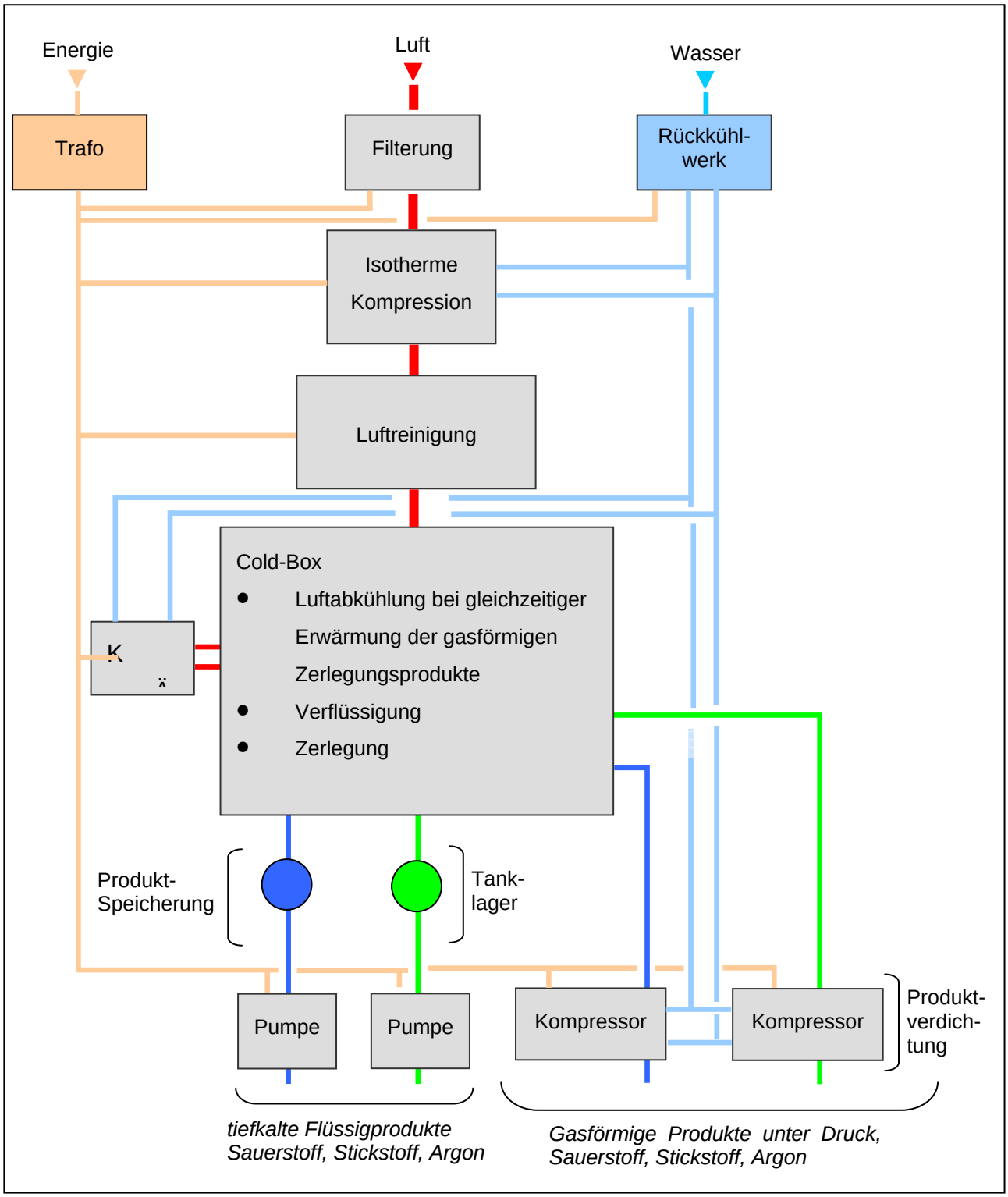



**Abbildung 8.4.1.2**: Prinzip der Luftzerlegungsanlage

Der Genehmigungsbescheid des staatlichen Gewerbeamts Aachen, heute: staatl. Umweltamt Aachen, zur Errichtung und zum Betrieb der Anlage zur Luftverflüssigung stammt aus dem Jahr 1989.

### 8.4.2 Statische Unterlagen

Für das Fundament liegt eine geprüfte Statische Berechnung - Bestandteil der Bauakte beim BOA Stolberg - vor. Für die Coldbox waren neben den Ausführungszeichnungen lediglich Auszüge einer nicht geprüften Statik verfügbar.

Nach der 2004 noch gültigen DIN 4149 Teil 1 (April 1981) Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, welche die DIN 4149 aus dem Jahre 1957 ersetzt hat, liegt Stolberg in der Erdbebenzone 4, der Zone mit dem höchsten seismischen Gefährdungsgrad in der Bundesrepublik Deutschland. Aus den vorliegenden Unterlagen ist zu ersehen, dass für die Coldbox die Erdbebenlasten entsprechend DIN 4149 nach einem (quasi-statischen) Näherungsverfahren unter Ansatz horizontaler Ersatzlasten ermittelt wurden. Die Eingangsparameter (Bauwerksklasse, Baugrundfaktor und Abminderungsfaktor) zur Ermittlung der horizontalen Ersatzlasten wurden vom Entwurfsverfasser der Statik dabei äußerst konservativ gewählt.

Da nach DIN 4149 Abschn. 7.5 Erdbebenlasten und Windlasten nach DIN 1055 Teil 4 nicht als gleichzeitig wirkend angenommen werden müssen, wurde vom Verfasser lediglich durch Lastvergleich gezeigt, dass der Lastfall Erdbeben für die Coldbox nicht bemessungsrelevant ist, sondern vielmehr der Lastfall Wind die dominierende Einwirkungsgröße darstellt.

### 8.4.3 Standsicherheit

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden für den Lastfall Erdbeben die Zustandsgrößen der Coldbox entsprechend der neuen DIN E 4149 (04/2005), die zur Bearbeitungszeit im Entwurf vorlag, nach dem multimodalen Antwortspektrenverfahren berechnet. Zum Vergleich wurden die Zustandsgrößen infolge Erdbebens für das gleiche Rechenmodell mit den Lastansätzen des Entwurfverfassers der Coldbox-Statik ermittelt. Die Ergebnisse beider Berechnungen stimmen recht gut überein.

Da der Entwurf der neuen DIN E 4149 (09/2003) ebenso wie die noch gültige DIN 4149 (04/1981) für die Erdbebenbemessungssituation eine Kombination von Erdbeben- und Windeinwirkungen – für übliche Hochbauten – nicht vorsieht, kann demzufolge festgehalten werden, dass die Coldbox der Fa. Linde AG als hinreichend standsicher bezüglich der Gefahrenquelle Erdbeben anzusehen ist.

### 8.4.4 Betrachtung unter dem Gesichtspunkt der Anwendung der Störfall-Verordnung

Für die Luftzerlegungsanlage in Stolberg wurde kein Sicherheitsbericht gemäß § 9 der StörfallV erstellt, da dieser Betriebsbereich lediglich unter die Grundpflichten fällt. Ein Konzept zur Verhinderung von Störfällen gemäß § 8 wurde ausgearbeitet, ebenso ein allgemeiner Alarm- und Gefahrenabwehrplan erstellt. Darin wurden Störfälle als Folge seismischer Ereignisse, wie heute üblich, nicht betrachtet.

Der Betriebsbereich entspricht nach der Prüfung der technischen Unterlagen dem Stand der Technik und erfüllt somit erwartungsgemäß die Anforderungen der StörfallV. Die nach § 3 der StörfallV zu betrachtende Kombination von prozessbedingten mit natürlichen Risiken aus der Umwelt wird offenbar implizit erfüllt.

**Abbildung 8.4.4.1**: Unterer Bereich der Coldbox

## 8.5 Vorläufiges Fazit: Erkenntnis erster Defizitquellen

Wie die Sachstandsanalyse der Einwirkungsseite der Gefährdung von Tragwerken durch Sturm und Erdbeben in der Bundesrepublik Deutschland ergab, konnten eine Reihe grundlegender Defizite, die im Folgenden kurz skizziert werden sollen, ermittelt werden. Diese werden in den folgenden vier Unterpunkten in dem späteren Unterkapitel 8.7 dieses Gutachtens wieder aufgegriffen und in der nächsten Arbeitsphase detailliert beschrieben, um hierauf aufbauend Abhilfemaßnahmen im Rahmen moderner Normen, internationaler Forschungen und technisch-wissenschaftlicher Konzepte zu behandeln. Zuvor muss selbstverständlich auch die Widerstandsseite (Abschnitt 8.6) der betrachteten Tragwerke ausführlich erörtert werden.

### 8.5.1 Baunormen unterschiedlichen Standes der Technik

Neben den oben erwähnten beiden Grundnormen DIN 1055-4 und DIN 4149 für Sturm und Erdbeben müssen bei der Konstruktion von Tragwerken stets eine große Anzahl weiterer baustoff- und bauartenspezifischer Normen berücksichtigt sowie eingehalten werden, die die Widerstandseite des Tragwerks betreffen. Diese Normen tragen sehr unterschiedliche Datumsangaben, in welchen sie bauaufsichtlich in den einzelnen Ländern der Bundesrepublik Deutschland eingeführt wurden. Daher spiegeln sie stets unterschiedliche Stände der Technik wider und damit möglicherweise unterschiedliche Sicherheitsniveaus, ein Bauwesen wegen langer Bauwerks-Nutzungsdauern übliches Defizit dar (Bestandsgarantie). Diese Widersprüche werden erst mit der derzeit in Bearbeitung befindlichen, Eurocode-basierten Normengeneration behoben werden, die möglicherweise im nächsten Jahrzehnt Rechtskraft erhalten wird.

Ein weiteres Problem stellt im Baurecht die föderale Struktur der Bundesrepublik Deutschland dar, wodurch wegen der Länderhoheit im Baurecht immer wieder einzelne Normen in einzelnen Bundesländern nicht bauaufsichtlich eingeführt werden. Dann gilt in dem betreffenden Bundesland zwar der Stand der Technik, aber er ist in der jeweiligen Normencodierung kein verbindliches Recht und wird somit bei Bauentwürfen nicht zwangsläufig angewandt.

Im Gebiet der neuen Bundesländer tritt als weitere gravierende Schwierigkeit hinzu, dass die dort bis 1990 geltenden Bauvorschriften ein Gemisch aus alten, weitgehend antiquierten DIN-Normen aus der Zeit vor 1945 sowie eigenen, teilweise sehr mo-

dernen TGL-Vorschriften der DDR darstellten. Ihre Sicherheitsniveaus waren somit sehr unterschiedlich und weder damals noch heute vergleichbar. Im Einzelnen ergibt sich für die Gefährdungspotenziale aus Sturm und Erdbeben folgendes Bild:

#### 8.5.1.1 DIN E 1055-4: Sturmgefährdung

Die erste im Deutschen Reich eingeführte Fassung der DIN 1055-4 vom Juni 1938 enthielt keine Windzonen, sondern für das gesamte Reichsgebiet einheitliche, höhenabhängige Staudrücke, die etwa in der Mitte zwischen denjenigen der Windzonen 1 und 2 der DIN E 1055-4 lagen [Niemann, 2004]. Diese Regelungen hat die Bundesrepublik Deutschland übernommen und in der bis 2005 gültigen DIN 1055-4 vom August 1986 beibehalten, obwohl eine Windkarte ihres Gebietes seit 1969 in anderen Normen eingeführt ist [DIN 4131, 1969]. Eine erste grundsätzliche Defizitfeststellung wäre somit, dass für einen Teil der Windzone 2 sowie für die Windzonen 3 und insbesondere 4 der DIN E 1055-4 bisher zu geringe Windlasten angesetzt wurden.

Weitere Änderungen der bisherigen Windlasten gegenüber dem in der neuen DIN 1055-4 (03/2005) dokumentierten Stand der Technik existieren beispielsweise durch die unterschiedlichen Kombinationsregeln mit dem Lastfall Schnee, ein für technische Anlagen im Allgemeinen eher untergeordneter Aspekt. Zu allen diesen Einzelheiten können weitere Detailklärungen in einer Fortschreibung des Gutachtens erarbeitet werden.

#### 8.5.1.2 DIN 4149: Erdbebengefährdung

Die erste DIN-Norm 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten wurde im Juli 1957 verabschiedet und im Oktober 1957 nur in den Bundesländern Hessen und Baden-Württemberg bauaufsichtlich eingeführt. Diese Norm enthält eine Erdbebenkarte der Bundesrepublik Deutschland mit 2 Erdbebenzonen.

Die nächste Normenausgabe stammt vom November 1972 und wurde nur im Bundesland Baden-Württemberg bauaufsichtlich eingeführt, zusammen mit einem landesspezifischen Anhang einer sehr detailreichen Erdbebenkarte. Diese Version ist

weitgehend identisch mit der bis 2005 gültigen DIN 4149 vom August 1981. Sie gibt für 4 Erdbebenzonen und 3 Gebäudeklassen die für die Tragwerksdimensionierung anzusetzenden Horizontalbeschleunigungen an. Ihr Sicherheitsniveau dürfte nur für einfache Gebäude, homogene geologische Untergrundverhältnisse und felsigen Baugrund dem Stand der Technik der neuen DIN 4149 (04/2005) entsprechen. Nähere Aussagen erfordern Detailuntersuchungen für vorgegebene Tragstrukturen, Erdbebenzonen, Geologie- und Baugrundklassen am konkreten Objekt.

Das Hauptdefizit hinsichtlich der Erdbebengefährdungsvorgaben in der Bundesrepublik liegt darin, dass auch die bisherige DIN 4149 von 1981 nicht in allen betroffenen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt worden ist. So unterblieb beispielsweise diese bauaufsichtliche Einführung der Norm im Bundesland NRW, weil die Politik der Entbürokratisierung der Bauplanungsprozesse den Vorrang gab und die Möglichkeit starker Erdbeben nicht wahrhaben wollte. Mehrere schriftliche Eingaben von Fachleuten blieben erfolglos. Erst im Jahre 1995, nach dem unerwartet starken Roermonder Erdbeben von 1992 mit einer Wiederkehrperiode von ca. 270 Jahren, wurde DIN 4149 in NRW bauaufsichtlich eingeführt.

Schließlich liegt ein weiteres Defizit darin, dass DIN 4149 (04/2005) ausdrücklich laut § 1 nicht für bauliche Anlagen gilt, von denen im Falle eines Erdbebens zusätzliche Gefahren ausgehen können. Was in diesen Fällen an die Stelle dieser Norm tritt, bleibt offen. Kapitel 8.7.3 zeigt mögliche Wege.

### 8.5.2 Baurechtliche Mitgenehmigung von Tragwerken des Anlagenbaus

Obwohl im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vorgeschrieben (das Baurecht ist in das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren integriert), werden - nach langjährigen Erfahrungen des Mitautors dieser Studie, Prof. Dr. Krätzig, als Prüfingenieur für Baustatik des Landes NRW - viele nach diesem Gesetz genehmigte Anlagen bzw. Betriebsbereiche nicht adäquat zum deutschen Baurecht bzw. zur jeweiligen Bauordnung genehmigungsrechtlich erfasst, auch wenn sie große Tragwerke mit typischen baulichen Risiken betreffen. Dies ist ein grundsätzliches Defizit, welches seinen Ursprung wohl in den oftmals weitgehenden Trennungen zwischen Anlagenbau und Bautechnik besitzt, sowohl juristisch, administrativ als auch die Ausbildung von Ingenieuren des Bau- und Maschinenwesens betreffend. Oftmals wird überhaupt nicht erkannt, dass vom Anlagenbau große Tragwerke errichtet werden, die - ohne Bezug zu den Baunormen - dann kaum dem Sicher-

heitsniveau des Baurechts entsprechen. In Gebietskörperschaften mit erfahrenen Bau- und Gewerbe-Verwaltungen oder mit langjähriger Industriekultur und im Falle größerer Industrieunternehmen ist dies hingegen zumeist zufriedenstellend geregelt.

Selbst wenn Anlagen-Tragwerke nach Baunormen berechnet und konstruiert werden, verhindert die fehlende baustatische Prüfpflicht in vielen Fällen die Erreichung eines Sicherheitsniveaus, welches in der Bautechnik Stand der Technik ist. Der Prüfingenieur für Baustatik, der frühestens nach 10 Berufsjahren und einem zusätzlichen Examen staatlich zugelassen wird, kontrolliert nämlich nicht nur die eigentliche Berechnung, sondern vor allem die Berechnungsannahmen und stichprobenartig die Bauausführung mit dem Ziel ausreichend hoher Sicherheiten (Vier-Augen-Prinzip in der Bautechnik).

Grundsätzlich gilt jedoch, dass der Stand der Technik, insbesondere der Stand der Sicherheitstechnik für Betriebsbereiche nach der StörfallV unabhängig von der baurechtlichen Mitgenehmigung rechtsverbindlich einzuhalten ist.

### 8.5.3 Gleiche Sicherheitsniveaus bei Kombinationsrisiken

Wirken Risiken unterschiedlichen Ursprungs auf Tragwerke von baulichen Anlagen, von Produktionsanlagen oder Betriebsstätten, beispielsweise Risiken aus Sturm, Hochwasser und Erdbeben, sowie solchen aus betrieblichen Prozessen ein, so bezeichnet man das sich einstellende, resultierende Gefährdungsniveau als Kombinationsrisiko (combined risks). Die Einzelrisiken sind traditionell auf unterschiedliche statistische Auftretenswahrscheinlichkeiten $p_f$ und Zielsicherheiten $\nu$ hin ausgerichtet, beispielsweise Hochwässer auf eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren ($p_f = 0{,}01$), Stürme auf eine solche von 50 Jahren ($p_f = 0{,}02$) und Erdbeben auf eine solche von 475 Jahren ($p_f \approx 0{,}002$). Die Systemsicherheiten der Widerstandsseite sind noch unterschiedlicher: Gegen das Bemessungshochwasser $Q_{100}$ wird i.a. eine Sicherheit von $\nu = 1{,}00$ als hinreichend angesehen, gegen Sturm eine von $\nu \geq 1{,}75$ und gegen Erdbeben eine solche von ca. $\nu = 1{,}30$. Eine holistische, vereinheitlichte Behandlung des Gefährdungspotenzials von technischen Anlagen und Bauwerken in Deutschland unter derartigen Kombinationsrisiken erscheint dringend geboten. Gleichwohl erfordert sie neben sehr grundsätzlichen, wissenschaftlich neuen Konzepten Forschungsgelder für solche Grundlagenforschungen in zweistelliger Millionenhöhe.

### 8.5.4 Sicherheit und Investitionsmittel

Jede zusätzliche Sicherheitsmaßnahme erfordert zusätzliche Finanzinvestitionen und bindet diese, solange das Risiko virtuell bleibt und nicht schadens-virulent wird, als totes Kapital. Die Höhe dieser Kapitalbindungen ist grundsätzlich vom Sicherheitsniveau abhängig, was für jedes Einzelrisiko genauso wie für Kombinationsrisiken gilt.

Um hier nicht ziellos in Sicherheitsmaßnahmen investieren zu müssen, sondern hohe Risiken anders als kleine zu behandeln, sind in den USA und Japan für das Einzelrisiko „Erdbeben“ im letzten Jahrzehnt neue Konzepte zur Definition von Zielsicherheiten entwickelt worden [Ghos, 1997]. Diese werden unter dem Oberbegriff performance-based seismic design zusammengefasst und könnten mit gewissen Einschränkungen auf deutsche Verhältnisse und auf die im vorliegenden Gutachten behandelten Gefährdungen weiter entwickelt werden. Hierzu werden Vorschläge für die vorliegenden (Kombinations-) Risiken im weiteren Verlauf des Gutachtens gemacht werden.

### 8.5.5 Vorläufige Ergebnisbewertung

#### 8.5.5.1 Praxis der Standsicherheitsprüfung in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren

In Genehmigungsverfahren für genehmigungsbedürftige Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist auch die Standsicherheit der Anlage Gegenstand dieser Genehmigung; das Baurecht ist in diesem Fall in das BImSchG integriert.

Die Konstruktionselemente einer zu genehmigenden Anlage werden im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens entweder als Bauwerk oder als technische Anlage betrachtet. Die Einstufung in eine dieser Kategorien wird in der Regel von der unteren Bauaufsichtsbehörde sowie der Genehmigungsbehörde nach BImSchG im Einvernehmen mit dem Betreiber der Anlagen (Bauherrn) vorgenommen. Im Einzelnen ist auf die Anforderung der §§ 5 und 6 des BImSchG sowie § 3 Abs. 2 und § 5 Abs. 1 Nr. 1 der 12. BImSchV zu verweisen.

### 8.5.5.2 Bauwerke

Wird eine Konstruktion als Bauwerk eingestuft, so muss diese den baurechtlichen Bestimmungen der jeweiligen Landesbauordnung entsprechen. In den Bauordnungen der einzelnen Bundesländer ist u.a. geregelt, dass ein Bauwerk nach den gültigen Normen und anerkannten Regeln der Bautechnik zu errichten ist. Zur baulichen Standsicherheit sind bei genehmigungspflichtigen Bauwerken - von einigen Ausnahmen abgesehen - die entsprechenden bautechnischen Nachweise der unteren Bauaufsichtsbehörde zur Prüfung vorzulegen (4-Augen-Prinzip). Dort wird die Einhaltung aller Baurechtsbestimmungen geprüft; die planungskonforme Ausführung des Bauwerks wird anschließend durch stichprobenhafte Kontrollen (Bauüberwachung) des Bauordnungsamtes sichergestellt. Beide Aufgaben kann die untere Bauaufsichtsbehörde auch auf einen hoheitlich tätigen, staatlich anerkannten Prüfingenieur übertragen. In einigen Bundesländern hat der Bauherr die Möglichkeit, selbst einen staatlich anerkannten Sachverständigen mit der Prüfung der Standsicherheit zu beauftragen. In diesem privatrechtlichen Verfahren ist der unteren Bauaufsicht dann eine Bescheinigung dieses Sachverständigen über die normengerechte Standsicherheit des Bauwerks vorzulegen. Dieser Ablauf wird auch im Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG eingehalten. Die Bauaufsichtsbehörde fungiert hierbei im Rahmen des Verfahrens als Fachbehörde.

### 8.5.5.3 Technische Anlagen / überwachungsbedürftige Anlagen in Betriebsbereichen

Geräte, Apparate, Maschinen, Komponenten von technischen Anlagen unterliegen seit dem 1. Mai 2004 dem Geräte- und Produktsicherheitsgesetz GPSG. Mit diesem Gesetz wurden die Europäischen Richtlinien in nationales Recht umgesetzt. Das Gesetz gilt für das in Verkehr bringen und Ausstellen von Produkten (technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte) und für die Errichtung und den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen. Es wird u.a. ergänzt durch die 6. Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über das in Verkehrbringen von einfachen Druckbehältern) und die 14. Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung).

Für überwachungsbedürftige Anlagen besteht nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) - Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Be-

reitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes - bezüglich der Sicherheit der Anlage, die Standsicherheit eingeschlossen, eine Prüfpflicht durch von der Behörde benannte Stellen, z.B. TÜV oder akkreditierte Betreiberprüfstellen. Für alle anderen unter die Betriebssicherheitsverordnung fallenden Anlagen gibt es eine zwingende Prüfpflicht nach dem im Bauwesen international bewährten 4-Augen-Prinzip, etwa durch staatlich anerkannte Prüfingenieure, zur Zeit nicht.

#### 8.5.5.4 Zusatzbetrachtung unter Aspekten der Anwendung der StörfallV

Aufgrund langjähriger Erfahrung der Verfasser dieses Berichtes muss in Bezug auf vorliegende Sicherheitsberichte für Betriebsbereiche, welche unter die erweiterten Pflichten der StörfallV fallen und in erdbebengefährdenden Zonen liegen, festgestellt werden, dass bei den sicherheitstechnischen Betrachtungen in diesen Berichten die Gefahren durch Erdbeben i.d.R. außer Acht gelassen werden. Die gleiche Aussage kann für die Gefahr durch Stürme getroffen werden.

In Sicherheitsberichten spielt die Darlegung von Tragwerksauslegungen und -berechnungen - insbesondere bei Erdbeben- oder Sturmbelastung - nach allen vorliegenden Erkenntnissen der Verfasser dieses Berichtes eine eher untergeordnete Rolle. Detailuntersuchungen oder Angaben ob Tragwerke i.E. überhaupt als solche erfasst und wenn, ob diese entspr. den einschlägigen Baunormen berechnet wurden sind in aller Regel nicht in Sicherheitsberichten enthalten. Diese Aussage gilt gleichermaßen im Rahmen einer Prüfung von Sicherheitsberichten durch Sachverständige; in den entsprechenden Gutachten wird diesem Thema kaum Beachtung geschenkt.

Ist ein Sachverständigengutachten (§ 13 9. BImSchV) im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens nach dem BImSchG eingebracht, wird von den beteiligten Behörden dieses i.d.R. als abschließend betrachtet. Lediglich im Einspruchsverfahren und Anhörungstermin nach Verfahren nach § 4 bzw. § 16.1 entsprechend § 10 des BImSchG sowie § 12 bzw. § 18 der 9. BImSchV kann zu dem v.g. Thema durch Einwender Stellung genommen werden.

#### 8.5.5.5 Zusammenfassung

In Abhängigkeit von der Einstufung einer Konstruktion als Bauwerk oder technische Anlage können unter Umständen unterschiedliche Sicherheitsstandards gelten. In diesem Fall gibt es offenbar eine gewisse Grauzone, in der es möglich ist, das 4-Augen-Prüfprinzip zu umgehen.

Wesentlich ist eine Durchsetzung der Betreiberpflichten nach dem BImSchG und der StörfallV in Bezug auf eine adäquate sicherheitstechnische Prüfung auch für Betriebsbereiche, welche durch Gefahren aus Sturm und Erdbeben betroffen sein können; im Fall der hier behandelten statischen Belange. (Nähere Ausführung hierzu unter Kap. 11.)

## 8.6 Sachstandsanalyse: Einheitliche Gefahrenabwehr baulicher Anlagen mit dem Eurocode-Sicherheitskonzept

### 8.6.1 Grundlagen und Einführung in Tragwerkszuverlässigkeit

Laien vermuten oftmals, dass man allein aus den in Baunormen vorgegebenen Lasten und durch deren Vergleich zuverlässige Aussagen über die bauliche Sicherheit eines Tragwerks gewinnen könne. Diese Vermutung ist irrig, weil die einzelnen Einwirkungen oder Einwirkungskombinationen sehr unterschiedliche statistische Verteilungen und Auftretenswahrscheinlichkeiten aufweisen. Damit existieren stets vielfältige Bemessungssituationen, denen durch jeweils unterschiedliche Lastkombinationen, Sicherheitsbeiwerte und Sicherheitselemente so begegnet wird, dass eine von der Allgemeinheit als sicher und dauerhaft zuverlässig empfundene Konstruktion entsteht.

Das eben Gesagte bezieht sich auf Tragwerke wie alle Abschnitte des Kapitels 8.6, genauer auf Tragwerke des Hoch- und Ingenieurbaus. Übergeordnet sind Bauliche Anlagen im Sinne der Bauordnungen, nämlich alles mit dem Baugrund verbundene, durch Baumaßnahmen Geschaffene. Der Fachbegriff Bauwerke entspricht dem Definitionsverständnis baulicher Laien, d.h. es handelt sich um aus Bauprodukten auf der Basis technischer Spezifikationen errichteter Werke. Tragwerke oder Tragstrukturen sind stets die lastabtragenden Bestandteile von Bauwerken.

Bauwerke sind nach internationalem Rechtsverständnis technische Werke, deren Tragwerkszuverlässigkeit, unterteilt in Gebrauchstauglichkeit und Versagenssicherheit, allein durch ihren Entwurf, ihre Konstruktionsweisen und Errichtungsprozesse gewährleistet sein muss. Dies bedeutet, dass Tragwerke als Bestandteile von Bauwerken nur begrenzte Wartungsaufwendungen erfordern sollten und von jedermann ohne Spezialkenntnisse gefährdungsfrei nutzbar sein müssen. Im Sinne der Tragwerksdauerhaftigkeit sollten sämtliche Funktionen eines Tragwerks hinsichtlich Versagenssicherheit und Gebrauchstauglichkeit ohne wesentliche Einschränkungen der Nutzungseigenschaften und bei einem üblichen Erhaltungsaufwand während der gesamten Nutzungsdauer bewahrt bleiben.

Sämtliche Fähigkeiten eines Tragwerks zur Erfüllung dieser Zuverlässigkeitsanforderungen bezeichnet man allgemein als Tragwerkswiderstand R, unterteilbar in den Widerstand gegen Tragwerksversagen und denjenigen zur Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit. Dieser Widerstand wird aktiviert durch die nutzungsbedingten Einwirkungen E, die kraftbasiert (Lasten: Eigengewicht, Verkehr, Betriebseinwirkungen, Wind, Erdbeben) oder anderweitig verursacht (Deteriorationen: Temperatur, Schwinden, Korrosion, Ermüdung, Karbonatisierung, Chlorideinwirkung,...) sein können. Widerstand R und Einwirkungen E verbindet das Zuverlässigkeitskonzept des Tragwerks, welches alle kritischen Zustände auf einheitlich definierte, hinreichend kleine Auftretenswahrscheinlichkeiten $P_f$ einschränkt, und zwar während der gesamten Tragwerks-Nutzungsdauer.

Für den Versagensfall wird $P_f$ auch als operative Versagenswahrscheinlichkeit bezeichnet. Diese Eingrenzung erfolgt im Einzelnen mit dem Anforderungsgebäude des Sicherheitskonzeptes, welche mittels Sicherheitsbeiwerten der Widerstandsseite und Sicherheitskoeffizienten sowie Kombinationsbeiwerten der Einwirkungsseite den Zeitpunkt des möglichen Auftretens kritischer Zustände vom Lebenszeitintervall der Tragwerksnutzungsdauer sicher fernhält. Diese grundsätzlichen Zusammenhänge verdeutlicht **Abbildung 8.6.1.1**.

Oftmals wird der Fehler gemacht, bauliche Risikoabschätzungen allein über die Einwirkungsseite vornehmen zu wollen und somit zu versuchen, das Zuverlässigkeitskonzept auszuklammern. Dies kann, außer bei sehr groben, qualitativen Abschätzungen, zu erheblichen Fehleinschätzungen führen, da Tragwerkseinwirkungen sehr unterschiedliche Auftretenswahrscheinlichkeiten aufweisen. Diese werden im Zuverlässigkeitskonzept auf die Tragwerksnutzungsdauer als einheitlichen Zeitmaßstab abgestimmt. Außerdem werden im Sicherheitskonzept des Tragwerkes die einzelnen Schutzziele, wie Personenschutz, Aufrechterhaltung des Betriebs oder Schutz

der Bauinvestition, durch unterschiedliche Sicherheitsbeiwerte definiert, d.h. mit unterschiedlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten verknüpft.

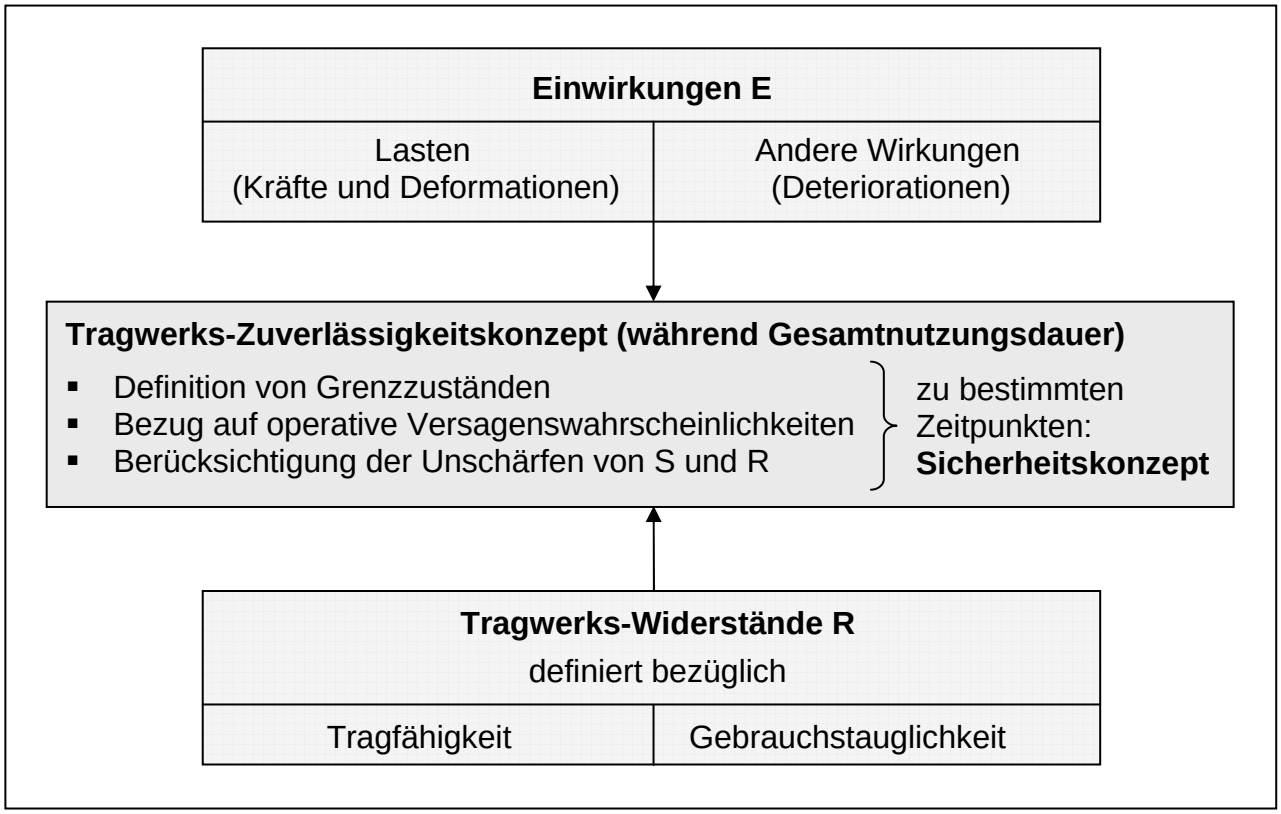



**Abbildung 8.6.1.1**: Die zentrale Rolle des Zuverlässigkeitskonzeptes in der baulichen Gefahrenabwehr

## 8.6.2 Zuverlässigkeit, Dauerhaftigkeit und Robustheit

Nach dieser Einführung in die Grundgedanken der Tragwerkszuverlässigkeit, die für alle Tragwerke gelten, sollen nun Gesichtspunkte herausgestellt werden, die insbesondere für Tragwerke von verfahrenstechnischen Anlagen von Bedeutung sein können. Dies erfolgt unter den in der Überschrift genannten drei Stichworten.

Unter dem Gesichtspunkt der Tragwerkszuverlässigkeit fassen wir, wie erläutert, die Einstellung des normenseits geforderten baulichen Sicherheitsniveaus zusammen. Hierzu verwendet man sogenannte Grenzzustände, beispielsweise Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und solche des Tragwerksversagens, für welche in den Baunormen für die Einwirkungsseite E sowie für die Widerstände R Teilsicherheitswerte und Last-Kombinationsregeln verbindlich vorgeschrieben sind.

Diese Anforderungen müssen natürlich während der gesamten Nutzungsdauer eines Tragwerks eingehalten werden, ein Themenkomplex, den man als Dauerhaftigkeit bezeichnet. Jedes Bauwerk verschlechtert im Laufe seiner Nutzung seine Qualität (Degradation). Da ein Bauwerk höchstens während seiner Herstellungsphase bauaufsichtlich durch stichprobenartige Kontrollen qualitätsmäßig überprüft wird, ist sein späterer Qualitätszustand während der Nutzungsphase in der Regel unbekannt und damit auch der Sicherheitszustand seines Tragwerks. Das moderne Bauwerksmonitoring entwickelt hierfür Methoden der quantitativen Zustandsbeurteilung.

Dies ist aber nur der technische Gesichtspunkt; viel bedeutender sind die administrativen Aspekte. Nach Baugenehmigung, Bauabnahme und Ausstellung des Bauscheines entgleitet jedes Tragwerk dem Zugriff des staatlichen Ordnungsrechtes. Es gilt lediglich die allgemeine Betreiberpflicht zur Gefährdungsabwehr, die von seinem Tragwerk ausgehen könnte. Bauwerke besitzen im Sinne des deutschen Baurechts somit einen Bestandsschutz, der prinzipiell lebenslang gilt. Er geht allerdings bei wesentlichen konstruktiven Modifikationen verloren. In solchen Fällen bedarf es erfahrungsgemäß langwieriger Diskussionen der Beteiligten zur Auslegung des Begriffes „wesentlich“, da neue Sicherheitsnachweise oft zu Konstruktionsergänzungen und beides zu Kosten führen. Jedenfalls sei betont, dass das deutsche Baurecht außer bei Brücken keine regelmäßigen Inspektionen, Rehabilitationsmaßnahmen und sicherheitstechnische Aktualisierungen kennt.

Der letztgenannte Gesichtspunkt ist derjenige der Robustheit. Hierunter versteht man eine Tragwerkseigenschaft, die sicherstellt, dass Überschreitungen von Einwirkungen nicht zu völlig unerwarteten (unproportionalen) Reaktionen des Tragwerks führen. Erfahrungsgemäß sind Einstürze von Tragwerken häufig als Verletzung dieser Eigenschaft zu interpretieren. Typische Beispiele sind der Einsturz des Terminal E auf dem Flughafen Charles de Gaulle, verschiedene Versagensfälle von Leimbindern, progressiver Kollaps von Stromleitungen. Bauherren erwarten in der Regel unbegrenzte Robustheit ihrer Bauinvestition, Entwurfsingenieure glauben Robustheit durch Einhaltung der Entwurfsnormen eingestellt, und alle Beteiligten sind erstaunt beim Virulentwerden von nicht-robustem Tragwerksverhalten.

Sind Bauwerke im Rahmen des BImSchG genehmigungsrechtlich erfasst, dann unterliegen diese auch dem Geltungsbereich und den Anforderungen des BImSchG. D.h. auch, dass aufgrund der geltenden Betreiberpflichten nachträgliche Anforderungen nach § 15 des BImSchG für Bauwerke bzw. Tragwerke möglich sind. Ebenfalls unterliegen solche Bauwerke als Bestandteil von Betriebsbereichen der Überwachung nach § 16 der StörfallV und sind im Rahmen von Inspektionen zu prüfen. Dies

mit der Maßgabe, dass festgestellte Mängel auf behördliche Anorderung hin zu beheben sind.

### 8.6.3 Grenzzustände und Partialsicherheiten

Für die Nutzer gerät ein Bauwerk dann in einen kritischen Zustand, wenn entweder die planmäßige Nutzung des Bauwerks nicht mehr gewährleistet ist oder wenn eine unmittelbare Gefahr für dessen Standsicherheit besteht. Die heute weltweit gebräuchlichen Sicherheitskonzepte zur baulichen Gefahrenabwehr definieren für derartige kritische Zustände sogenannte Grenzzustände als Nachweis- oder Bemessungsziele. Je nachdem, ob die Versagenssicherheiten oder ob die Gebrauchseigenschaften der Konstruktion das Bemessungsziel sind, wird zwischen

- Grenzzuständen der Tragfähigkeit (des Versagens) und
- Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

unterschieden. Für beide Grenzzustände, die i.a. beide gleichzeitig zu gewährleisten sind, müssen heute Mindestwerte der (operativen) Eintrittswahrscheinlichkeiten eingehalten werden. Letztere werden durch die Eurocodes und das Deutsche Institut für Normung DIN festgelegt, sie sollen einmal zu einheitlichen baulichen Risikopotenzialen in Europa führen.

Die normenseitige Festlegung erfolgt in den obigen Grenzzuständen durch Sicherheitsbeiwerte der Widerstands- und der Einwirkungsseite. Diese grenzen charakteristische Fraktilwerte der Verteilungsfunktionen beider Seiten soweit voneinander ab, dass vereinbarte sehr kleine Auftretenswahrscheinlichkeiten der kritischen Zustände garantiert sind. Da diese Sicherheitsbeiwerte von den jeweiligen Verteilungsfunktionen abhängen, besitzen sie unterschiedliche Größen. Da sie ferner in modernen Zuverlässigkeitskonzepten beide Seiten, Widerstand sowohl als Einwirkung, betreffen, bezeichnet man sie als Partialsicherheitsfaktoren. Ihr Gegensatz sind Gesamt-Sicherheitskoeffizienten traditioneller Zuverlässigkeitskonzepte.

Sicherheitskonzepte, welche mit Partialsicherheitskoeffizienten arbeiten, heißen auch semi-probabilistisch: Weil jedem einzelnen Koeffizienten theoretisch gerade derjenigen Wert zugeordnet werden kann, der einem als maßgebend betrachteten Fraktil-

wert entspricht, integrieren sie – auf sehr niedrigem Niveau – probabilistische Eigenschaften der Verteilungsfunktionen in ein deterministisches Nachweiskonzept.

### 8.6.4 Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse und Zuverlässigkeitsindices

Die heutigen modernen Konzepte der baulichen Gefahrenabwehr besitzen einen sehr theoretischen Hintergrund, sie alle basieren auf Methoden der probabilistischen Zuverlässigkeitstheorie [Klingmüller u. Bourgund, 1992; Schueller, 1981], die wiederum auf der mathematischen Theorie stochastischer Prozesse fußt. Über die Hierarchie der verschiedenen Konzepte, von traditionellen (historischen) Bemessungsmethoden bis hin zu vollständig stochastischen Vorgehensweisen zur baulichen Gefahrenabwehr, gibt **Abbildung 8.6.4.1** eine Übersicht in Anlehnung an den Anhang B der DIN 1055-100 (03/2001), [NABau im DIN, 2001].

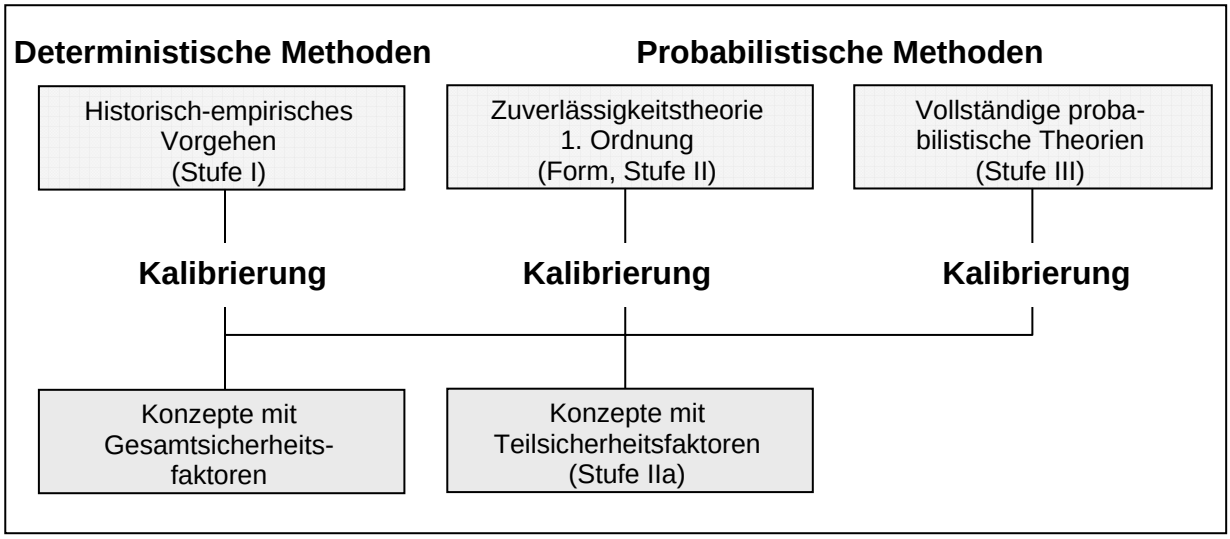



**Abbildung 8.6.4.1**: Überblick über Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse

Jedes Bemessungskonzept hat sich mit den statistischen Eigenschaften seiner einwirkenden und widerstehenden Elemente auseinander zu setzen: Alle Werkstoffkennwerte, die einwirkenden Belastungen und die Tragwerksabmessungen, unterliegen statistischen Schwankungen und führen damit zu einer Sicherheits-streuung, welche durch das zugrundeliegende Zuverlässigkeitskonzept abgefangen werden muss. Bis an das Ende des letzten Jahrhunderts waren in Deutschland derartige statistische, genauer probabilistische Aspekte baulicher Gefahrenabwehr in den

Baunormen weitgehend unberücksichtigt geblieben, obwohl Forscher bereits ab 1926 nachdrücklich auf diesen Aspekt hingewiesen hatten [Mayer, 1926]. Grundlegende Pionierarbeiten zu probabilistischen Sicherheitstheorien entstanden, erzwungen von Sicherheitsproblemen des Flugzeugbaus, ab 1950 [Freudenthal, 1956]. Intensivierte Forschungen im deutschen Bauingenieurwesen finden sich erst seit Anfang der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts [Rüsch u. Rackwitz, 1970; Schneider, 1994], nachdem an der TU München der Sonderforschungsbereich der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG-SFB 98 zu Sicherheitskonzepten im konstruktiven Ingenieurbau gegründet worden war. Die Bearbeitung der neuen Eurocodes [Kommission der EG, 1984] führte zu einer unerwartet schnellen Verbreitung statistisch orientierter Denkweisen im europäischen Bauwesen ab 1980.

Historisch gesehen sind Sicherheits- und Zuverlässigkeitsnachweise nach Abbildung 8.6.4.1 zunächst mittels Gesamtsicherheitsfaktoren entwickelt worden. Da die hierin beteiligten Parameter als Fraktilwerte jedoch sehr unterschiedlichen statistischen Verteilungsfunktionen entstammen, sind derartige Sicherheitskonzepte der Stufe I höchst unsicher. So können bei Verwendung von Gesamtsicherheitsfaktoren unbeabsichtigt sowohl Sicherheitsdefizite als auch erhebliche Sicherheitsüberschüsse auftreten. Abhilfe und größere Genauigkeit können letztlich nur vollständig probabilistische Zuverlässigkeitskonzepte (Stufe III, SORM: Second-order reliability method) schaffen, welche die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Verteilungsfunktionen berücksichtigen. Die hierbei einzusetzenden mathematischen Methoden der Stochastik gelten jedoch im Ingenieurwesen als so schwierig [NABau im DIN, 1977], dass derartige Konzepte in naher Zukunft kaum Eingang in die Ingenieurpraxis der Technik finden werden, allenfalls in linearisierter Form als Zuverlässigkeitstheorie 1. Ordnung (Stufe II, FORM: First-order reliability method), siehe Erläuterungen in [NABau im DIN, 2001]. Schätzt man die hierin auftretenden Verteilungen durch geeignete Fraktilwerte der Verteilungsfunktionen ab, so gelangt man zu Sicherheitskonzepten mit Teilsicherheitsfaktoren. Diese Stufe IIa in Abbildung 8.6.4.1 stellt die Basis der Eurocodes, der modernen europäischen Baunormen, dar [Eibl u. Kobler, 1978; Kommission der EG, 1984].

Schwachpunkt aller deterministischen und probabilistischen Zuverlässigkeitstheorien bildet stets die Kalibrierung der Konzepte an der bautechnischen Wirklichkeit: Tragwerksversagen als Grundlage des wichtigsten Bemessungsgrenzzustands bildet im Bauwesen einen äußerst unwahrscheinlichen Grenzfall für sehr seltene Extremereignisse, häufig noch gekoppelt an menschliches Versagen. Da menschliches Versagen im Zusammenhang mit baulichen Sicherheitsanalysen bewusst ausgeklammert wird, sind zuverlässige statistische Unterlagen über Versagenssituationen

äußerst rar. Sie liegen nämlich in den statistischen Verteilungsfunktionen weit entfernt vom zentralen Bereich, welcher kaum Informationen zu Versagenssituationen beisteuern kann. Jede Kalibrierung ist somit auf vielfältigen Ausnahmen aufgebaut und somit höchst ungenau. Das Standardverfahren zu dieser Kalibrierung, was jedoch vielfältige (Praktikabilitäts-) Annahmen beinhaltet, ist in DIN 1055-100 (03/2001) erläutert.

Wie **Abbildung 8.6.4.2** verdeutlicht und wie bereits im Abschnitt 8.6.2 erläutert, sind darüber hinaus alle im Rahmen von Zuverlässigkeitsanalysen ermittelten Sicherheitsmargen stets zeitabhängig.

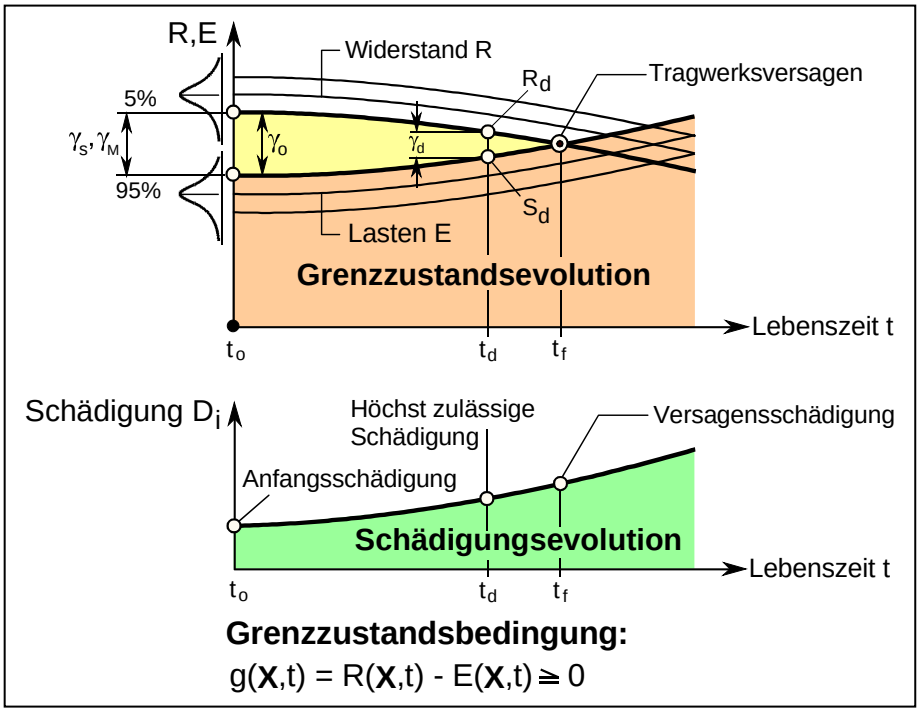



**Abbildung 8.6.4.2**: Zeitabhängige Grenzzustandsfunktion und Tragwerksschädigung

Schädigungen der Werkstoffe infolge betrieblicher oder unplanmäßiger (Überlastungen) Einwirkungseinflüsse reduzieren den Tragwerkswiderstand. Dies bewirken ebenso lastunabhängige Deteriorationsprozesse chemischen, mechanischen oder biologischen Ursprungs. Damit bildet sich eine Evolution von Schädigungen des Tragwerkswiderstandes aus. Oft erhöhen sich auch im Laufe der Tragwerksnutzungsdauer die einwirkenden Lasten. Beides, Schädigungen und Lasterhöhungen, reduzieren nach Abbildung 8.6.4.2 die Tragwerkssicherheit $\gamma_0$, dem durch erhöhte Anfangssicherheiten oder durch Rehabilitationsarbeiten im Verlauf der Tragwerksnutzung zu begegnen ist. Eine Grenzschädigung $\gamma_d$ (höchste tolerierbare Schädi-

gung) beendet i.A. die Tragwerksnutzung, bei welcher gleichzeitig die Tragwerkssicherheit die gerade noch tolerierbare Untergrenze unterschreitet.

Derartige Konzepte der Strukturmechanik bilden heute auf der Basis nichtlinearer Computersimulationen der Tragwerksdegradationen die konzeptionelle Grundlage für Reparatur- und Rehabilitierungsstrategien großer Einzeltragwerke oder für Tragwerksfamilien, beispielsweise von Straßenbauverwaltungen [Frangopol u. Liu, 2004]. Dies deutet **Abbildung 8.6.4.3** an, auf welcher verdeutlicht werden soll, wie bei Erreichen einer Grenzschädigung eine vorgenommene Reparaturmaßnahme den Tragwerkswiderstand wieder auf ein akzeptables Niveau erhöht (oben) oder eine Betriebsbeschränkung die Einwirkung soweit absenkt (unten), dass die zulässige Tragwerkssicherheit wieder erreicht wird.

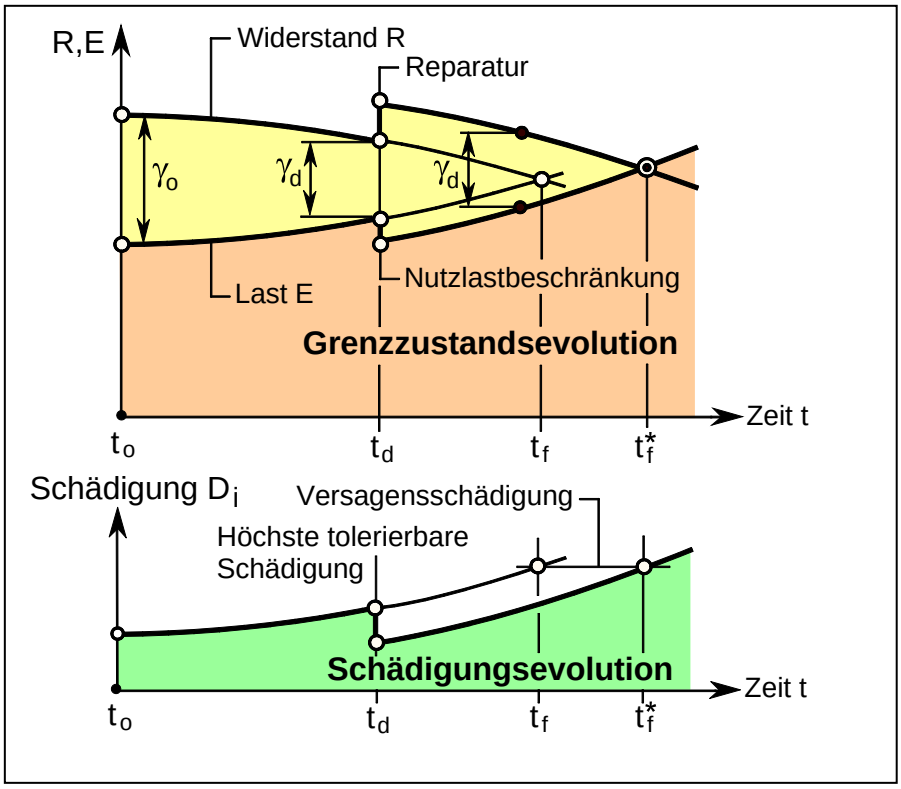



**Abbildung 8.6.4.3**: Zu Reparatur- und Rehabilitationsstrategien von Tragwerken

## 8.6.5 Grenzzustandsfunktion und Sicherheitsindex β

Im Rahmen von Zuverlässigkeitskonzepten 1. Ordnung der Stufe II (siehe Abbildung 8.6.4.2), die in ihren technischen Anwendungen des Ingenieurbaus mit Teilsicherheitsbeiwerten arbeiten, wird der Sicherheitsindex β als Maß der Zuverlässigkeit einer Tragwerkssituation betrachtet.

Zu seiner Erläuterung beginnen wir mit der Grenzzustandsfunktion g einer Sicherheitssituation, die auf Abbildung 8.6.4.2 unten explizit aufgeführt und im mittleren Teil in ihrem zeitlichen Verlauf schematisch dargestellt ist. Sowohl der Tragwerkswiderstand R als auch die Tragwerkseinwirkungen E sind Zufallsvariablen, daher wird die Grenzzustandsfunktion

$$g = R - E$$

ebenfalls als Zufallsvariable angesehen. Werte $g > 0$ beschreiben das Überleben des Tragwerks unter den betrachteten Einwirkungen, Werte $g < 0$ sein Versagen, $g = 0$ beschreibt die Grenze zwischen beidem. Wird die Grenzzustandsfunktion g als normalverteilt angenommen, üblicherweise eine nur näherungsweise geltende Praktikabilitätsannahme, so lässt sich für die Versagenswahrscheinlichkeit $P_f$ des Gesamtsystems {Tragwerkstopologie, R, E} [Klingmüller u. Bourgund, 1991; Schueller, 1981] folgender Zusammenhang herleiten:

$$P_f = P( g \leq 0 ) = \Phi( -\beta ) = 1 - \Phi(\beta).$$

Hierin kürzt $\Phi( -\beta )$ Ordinaten der (normierten) Verteilungsfunktion der GAUSS'schen Normalverteilung ab. Einige Werte dieses Zusammenhangs finden sich in der folgenden **Tabelle 8.6.5.1**. Der Sicherheitsindex β stellt im modernen konstruktiven Ingenieurbau ein häufig verwendetes Maß für operative Tragwerks-Schutzziele dar.

**Tabelle 8.6.5.1**: Zusammenhang zwischen (operativer) Versagenswahrscheinlichkeit $P_f$ und Sicherheitsindex $\beta$

| | |
|---|---|
| $P_f = 10^{-1}$ | $\beta = 1{,}282$ |
| $P_f = 10^{-2}$ | $\beta = 2{,}326$ |
| $P_f = 10^{-3}$ | $\beta = 3{,}090$ |
| $P_f = 10^{-4}$ | $\beta = 3{,}719$ |
| $P_f = 10^{-5}$ | $\beta = 4{,}265$ |
| $P_f = 10^{-6}$ | $\beta = 4{,}753$ |
| $P_f = 10^{-7}$ | $\beta = 5{,}199$ |
| $P_f = 10^{-8}$ | $\beta = 5{,}612$ |
| $P_f = 10^{-9}$ | $\beta = 5{,}998$ |
| $P_f = 10^{-10}$ | $\beta = 6{,}361$ |

Im Normalfall ist die Grenzzustandsfunktion g natürlich nicht normalverteilt. Dann hält die Forschung eine Vielzahl von Analysekonzepten [Eibl u. Kobler, 1978; Rackwitz u. Fiessler, 1976 u.1978] für $\beta$ bei genauerer Erfassung der Verteilungsfunktionen bereit. So verwendet man i.A. für Baustoffeigenschaften, Bauteilwiderstände und Modellunsicherheiten log-normale oder WEIBULL-Verteilungen, die GAUSS-Verteilung nur für Eigengewicht; und verschiedene Extremwertverteilungen für alle veränderlichen Einwirkungen [NABau im DIN: DIN 1055-100 (03/2001)]. In der Praxis pflegt man jedoch in derartigen Fällen nicht-normalverteilter statistischer Variablen viel häufiger ohne Detailprüfung die Grenzzustandsfunktion g angenähert – im Sinne einer Praktikabilitätshypothese – als normalverteilt anzusehen und damit die obige Beziehung sowie die Werte der Tabelle 8.6.5.1 als Näherung zu verwenden.

DIN 1055-100 (03/2001) nennt im Anhang B Zielwerte des Zuverlässigkeitsindexes $\beta$ für unterschiedliche Lebenszeitintervalle und für verschiedene Grenzzustände, gültig für übliche Hochbauten in Deutschland, nämlich

- Grenzzustand Tragfähigkeit: für 1 Jahr: $\beta = 4{,}7$, für 50 Jahre: $\beta = 3{,}8$
- Grenzzustand Gebrauchstauglichkeit: für 1 Jahr: $\beta = 3{,}0$; für 50 Jahre: $\beta = 1{,}5$.

Die 50-Jahresfrist wird dabei als Mittelwert der Tragwerksnutzungsdauer angesehen. Oftmals wird letztere als länger (Brückentragwerke, Staudämme) oder auch kürzer (Produktionsgerüste) angestrebt, oder eine wesentliche Risikokomponente rührt von Unsicherheiten her, die statistisch unabhängige Jahresmaxima bzw. unterschiedliche

Mittelungszeiträume aufweisen (Superposition von Sturm und Erdbeben). In derartigen Fällen kann nach DIN 1055-100 der Sicherheitsindex $\beta$ für andere Bezugszeiträume mit Hilfe der Näherung

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n$$

umgerechnet werden. Hierin bezeichnet $\beta_n$ den Zuverlässigkeitsindex für einen Bezugszeitraum von n Jahren, $\beta_1$ denjenigen für 1 Jahr.

### 8.6.6 Nachweisformate nach den Eurocodes

In allen nach dem Baurecht nachzuweisenden Grenzzuständen basieren Sicherheitsnachweise auf der Grundbeziehung

$$E_d \leq R_d,$$

wobei $E_d$ den Entwurfswert der Einwirkung (Index d von design) und $R_d$ den Entwurfswert des Tragwerkswiderstandes einer bestimmten Entwurfs- oder Nachweissituation bezeichnet. Die Entwurfswerte beide Seiten dieser Beziehung besitzen einen analogen Aufbau, nämlich

$$E_d = \{ \sum(\gamma_G * G_{k,i}) \oplus \gamma_Q * Q_{k,1} \oplus \Sigma(\gamma_Q * \psi_{0,i} * Q_{k,i}) \} \quad \text{bzw.} \quad R_d = \sum R_{k,i} / \gamma_{R,i} \; .$$

Hierin bedeutet das Symbol $\oplus$ „ungünstigst zu kombinieren mit“, und es sind nach DIN 1055-100 (03/2001) folgende Abkürzungen verwandt worden:

$G_k$, $Q_k$ charakteristische Einwirkungen des Eigengewichts und weiterer Lasten,
$R_{k,i}$ charakteristische Festigkeiten der i Widerstandskomponenten,
$\gamma_G$, $\gamma_Q$ Teilsicherheitsfaktoren der Einwirkungen,
$\gamma_{R,i}$ Teilsicherheitsfaktoren der i Widerstandskomponenten,
$\psi_{0,i}$ Kombinationsbeiwerte (Anteilsfaktoren) der einzelnen i Einwirkungskomponenten $Q_{k,i}$.

Mit den Anteilsfaktoren $\psi_{0,i}$ im Einwirkungsausdruck $E_d$ sollen die schwierigen Probleme der statistischen Gleichzeitigkeit verschiedenartiger (statistisch unabhängiger) Einwirkungen, beispielsweise Straßenverkehr und Sturm, Schnee oder Erdbeben, sowie der unterschiedlichen Formen der Verteilungsfunktionen in einem determinis-

tischen Konzept bewältigt werden. Hierzu unterscheidet man zwischen vorherrschenden Einwirkungen (Leiteinwirkungen), die grundsätzlich mit $\psi_{0,i} = 1$ zu kombinieren sind, und weiteren (mitwirkenden) Einwirkungen mit Anteilsfaktoren (Kombinationsbeiwerten) $\psi < 1$. Sind nur zwei Einwirkungen vorhanden, so sind beide grundsätzlich mit $\psi_{0,i} = 1$ zu kombinieren.

Charakteristische Werte der Einwirkungen findet man in den Belastungsnormen, in unserem engeren Fall der Sturm- und Erdbebeneinwirkungen in DIN 1055-4 und DIN 4149, solche der Baustofffestigkeiten in den bauweisenbezogenen Normen, nämlich DIN 1045-1 für den Massivbau und DIN 18 800 für den Stahlbau. Grundlegende Kombinationsbeiwerte $\psi_{0,i}$ – siehe **Tabelle 8.6.6.1** – für Hochbauten enthält DIN 1055-100 (03/2001) im Anhang A, im Anhang B auch Hinweise zu deren Berechnung aus vorgegebenen statistischen Informationen.

**Tabelle 8.6.6.1**: Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

| | Widerstände | | Einwirkungen | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nachweissituation | Beton $\gamma_C$ | Stahl $\gamma_S$ | ständige | veränderliche leitende | veränderliche weitere |
| Grundkombination | 1.50 | 1.15 | Günstige Auswirkung: 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | | Ungünstige Auswirkung: 1.35 | 1.50 | 1.50 $\psi_I$ |
| Außergewöhnliche K. | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| Erdbeben - K. | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |

Über die zu verwendenden Teilsicherheitsfaktoren $\gamma_G$, $\gamma_Q$ und $\gamma_{R,i}$ gibt Tabelle 8.6.6.1 einen ersten Überblick für Bauwerke aus Stahlbeton [König u. Tue, 1998; NABau im DIN: DIN 1045-1 (07/2001)]. In dieser Abbildung sind nur Faktoren für Nachweisformate nach dem Grenzzustand der Tragfähigkeit aufgeführt und zwar für Grundkombinationen (Eigengewicht, Verkehrslasten, Sturmlasten, Temperatur) sowie für außergewöhnliche Einwirkungskombinationen (Explosionen, Brandfall) und Erdbeben. Diese Übersicht vermittelt zunächst, dass bisher nur für Hochbauten detaillierte Fixierungen für semi-probabilistische Sicherheitsnachweise existieren. Zukünftig geplant ist dies für Klassen aller wichtigen Tragwerke. Ob dies jemals erfolgen wird ist

fraglich, da für weniger häufige Bauwerke in außergewöhnlichen Nachweissituationen statistische Informationen zu deren Auftreten wohl überhaupt nicht vorhanden sind. Hier eröffnet sich ein weites Feld wissenschaftlicher Forschung, wenn dieses moderne bauliche Sicherheitskonzept auf Tragwerke im Rahmen von Produktionsanlagen bzw. Betriebsbereichen nach der StörfallV angewendet werden soll.

## 8.6.7 Vereinfachte Nachweisformate für den Hochbau

### 8.6.7.1 Schutzziele der DIN 1055-100 (03/2001)

Im Abschnitt 4 definiert DIN 1055-100 die vom entwerfenden Ingenieur zu erreichenden Schutzziele als grundlegende Anforderungen des deutschen Baurechts wie folgt:

> *Ein Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass während der Errichtung und Nutzung mögliche Einwirkungen mit angemessener Zuverlässigkeit keines der nachstehenden Ereignisse zur Folge haben:*
>
> - *Einsturz des gesamten Bauwerks oder eines Teiles;*
> - *Größere Verformungen in unzulässigem Umfang;*
> - *Beschädigung anderer Bauteile oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen des Tragwerks;*
> - *Beschädigungen durch ein Ereignis in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß.*

Man erkennt sofort, dass in diesen Festlegungen eigentlich bereits die im Abschnitt 8.6.2 erwähnten Robustheitseigenschaften formuliert sind. Bemessungstechnische Basis dieser sehr umfangreichen Schutzziele sind die o.g. semi-proba-bilistischen Kombinationsgleichungen mit den normenseits festgelegten Entwurfsgrößen (Einwirkungen und Festigkeiten), den Partialsicherheitsfaktoren und den Kombinationsbeiwerten. Für die Einwirkungsseite finden sich Zahlenangaben der Lastgrößen in den Belastungsnormen sowie solche der Partialsicherheitsfaktoren und der Kombinationsbeiwerte in DIN 1055-100. Für die Widerstandsseite entnimmt man Festigkeiten und Partialsicherheitsfaktoren den bauweisen-orientierten Normen.

Teilsicherheitsbeiwerte sind für Massivbauwerke in Tabelle 8.6.6.1 zusammengestellt, Kombinationsbeiwerte $\psi_I$ in **Tabelle 8.6.7.1.1**. Letztere sollen so festgelegt sein

[Eibl u. Kobler, 1978], dass die im Abschnitt 8.6.5 genannten operativen Zuverlässigkeiten nicht unterschritten werden: Der Kombinationsbeiwert $\psi_1$ sorgt dafür, dass diese Lastkombination höchstens 300-mal oder jährlich nicht mehr als 5% überschritten wird, $\psi_2$ höchsten 50% (DIN 1055-100, 6.2).

**Tabelle 8.6.7.1.1:** Kombinationsbeiwerte $\psi_I$ nach DIN 1055-100, Tabelle A.2

| **Einwirkung** | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|---|---|---|---|
| Nutzlast auf Decken in Büros | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| Windlasten | 0.6 | 0.5 | 0.0 |
| Schneelasten | 0.5 | 0.2 | 0.0 |
| Temperatur | 0.6 | 0.5 | 0.0 |
| Baugrundsetzungen | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

Die Anwendung der im letzten Abschnitt genannten Kombinationsregeln, die in DIN 1055-100, 9.4 in erheblicher Detaillierung erläutert wird, erfordert große Sachkenntnis als Bauingenieur und Sorgfalt. Deshalb hat die zitierte Norm im Anhang A für den Hochbau als Lehrbeispiel vereinfachte Regeln explizit angegeben, dessen Zahlenwerk im Folgendem statt weiterer Erklärungen am Beispiel eines Stahlbetongebäudes erläutert werden soll.

### 8.6.7.2 Superposition von Eigengewicht $G_k$, $Q_{Nutzlast}$, $Q_{Wind}$ und $Q_{Schnee}$

Nach der **Tabelle 8.6.6.1** und der **Tabelle 8.6.7.1.1** erhalten wir in den Bemessungsformaten folgende Einwirkungskombinationen:

$$E_{d,1} = 1.35\ G_k + 1.50\ Q_{Nutzlast} + 1.50{*}0.60\ Q_{Wind} + 1.50{*}0.50\ Q_{Schnee}$$
$$1.35\ G_k + 1.50\ Q_{Nutzlast} + 0.90\ Q_{Wind} + 0.75\ Q_{Schnee},$$

$$E_{d,2} = 1.35\ G_k + 1.50\ Q_{Wind} + 1.50{*}0.70\ Q_{Nutzlast} + 1.50{*}0.50\ Q_{Schnee}$$
$$1.35\ G_k + 1.50\ Q_{Wind} + 1.05\ Q_{Nutzlast} + 0.75\ Q_{Schnee}.$$

### 8.6.7.3 Außergewöhnliche Kombination von $G_k$, $A_d$, $Q_{Nutzlast}$ und $Q_{Wind}$

Bezeichnet $A_d$ den Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung, so erhalten wir folgende Einwirkungskombinationen:

$$E_{d,1} = 1.00\ G_k + 1.00\ A_d + 1.00 * 0.50\ Q_{Wind} + 1.00 * 0.30\ Q_{Nutzlast}$$
$$= 1.00\ G_k + 1.00\ A_d + 0.50\ Q_{Wind} + 0.30\ Q_{Nutzlast},$$

$$E_{d,2} = 1.00\ G_k + 1.00\ A_d + 1.00 * 0.50\ Q_{Nutzlast} + 1.00 * 0.00\ Q_{Wind}$$
$$= 1.00\ G_k + 1.00\ A_d + 0.50\ Q_{Nutzlast}.$$

Die mögliche Kombination mit Schneelast braucht wegen ihrer geringeren Intensität als die Nutzlast erneut nicht berücksichtigt zu werden. Der Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung $A_d$ ist in DIN 1055-100, Tabelle A.3 mit 1.00 festgelegt.

### 8.6.7.4 Superposition von $G_k$, $A_{Ed}$ (Erdbeben) und $Q_{Nutzlast}$

Bezeichnet $A_{Ed}$ den Bemessungswert einer seismischen Einwirkung, so erhalten wir folgende Einwirkungskombination nach DIN 1055-100, 9.4:

$$Ed,1 = 1.00\ G_k + 1.00 * \gamma I * A_{Ed} + 1.00 * 0.30\ Q_{Nutzlast}$$
$$= 1.00\ G_k + \gamma I * A_{Ed} + 0.30\ Q_{Nutzlast}$$

Superposition von Wind und Erdbeben wird wegen der geringen Wahrscheinlichkeit gleichzeitigen Auftretens gemäß DIN 1055-100, 9.4 (16) ausgeschlossen, wenn man den Kombinationsbeiwert $\psi_2 = 0$ für Wind nach Tabelle 8.6.7.1.1 beachtet. Dies gilt nach DIN 4149, 7.1 allerdings nicht für Bauten der höchsten Bedeutungsklasse IV entsprechend der Übersicht in **Tabelle 8.6.7.4.1**.

Der in obigem Bemessungsformat noch enthaltene Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$ entspricht der derzeitigen Schreibweise in DIN 1055-100. Er wurde gemäß DIN 4149 bereits am Ende von Abschnitt 8.3.3.6 erwähnt. Da er aus Sicht eines modernen Sicherheitskonzeptes einen versteckten Partialsicherheitskoeffizienten darstellt, schreibt man ihn heute als 1.00, um mit obiger Beziehung ein allgemeingültiges Bemessungsformat zu erhalten. Dann muss man sich natürlich darauf verständigen, dass der

wirkliche Bedeutungsbeiwert nach Tabelle 8.6.7.4.1 im Ausdruck $A_{Ed}$ der Erdbebeneinwirkung enthalten ist.

**Tabelle 8.6.7.4.1**: Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte nach DIN 4149 (04/2005)

| Bedeutungskategorie | Bauwerke | Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$ |
|---|---|---|
| I | von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit | 0.8 |
| II | von gewöhnlicher Bedeutung: Wohngebäude | 1.0 |
| III | mit wichtiger Wiederstandsfähigkeit gegen Erdbeben: große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Kaufhäuser, ... | 1.2 |
| IV | mit dem Erfordernis seismischer Unversehrtheit: Krankenhäuser, Feuerwehrhäuser, Katastrophenschutz-Anlagen, ... | 1.4 |

## 8.7 Bautechnische Anlagensicherheit: Schwachpunkte, Defizite und vorgeschlagene Maßnahmen

In den bisherigen Abschnitten ist im Wesentlichen der technische Sachstand einer modernen normengerechten baulichen Gefahrenabwehr für Bauwerke unter Sturm und Erdbeben nach den Landesbauordnungen behandelt worden. Außerdem wurden in den Abschnitten 8.5 erste erkannte, vorwiegend nicht-technische Defizitquellen behandelt. Nunmehr soll entsprechend dem Fragenkatalog der Leistungsbeschreibung für das vorliegende UFOPLAN-Forschungsvorhaben untersucht werden, in wie weit sich aus diesen bauordnungsrechtlichen Anforderungen Schwachpunkte oder Defizite für genehmigungspflichtige Anlagen nach BImSchG bzw. Betriebsbereiche gemäß der StörfallV ergeben und welche Maßnahmen zur Abhilfe vor zu schlagen wären. Außerdem werden Hinweise gegeben werden, wie sich der oben genannte technisch-rechtliche Rahmen in Deutschland und der EU vermutlich im nächsten Jahrzehnt weiterentwickeln wird und welche weltweiten Sicherheitstrends für Bauwerke, insbesondere solche in Produktionsanlagen d.h. auch Betriebsbereichen bestehen.

## 8.7.1 Rechtliche Gesichtspunkte und administrative Defizite

### 8.7.1.1 Die neue Europäische Generation von Baunormen

Im Jahre 1985 beschlossen die Europäischen Regierungschefs, Maßnahmen zur Vollendung des Europäischen Binnenmarktes in die Wege zu leiten. Hierbei sollte der gesamte Baumarkt der EU eine Vorreiterrolle übernehmen. Bereits im Jahre 1988 wurde mit Verabschiedung der Bauproduktenrichtlinie [Rat der EG, 1988] durch den EG-Ministerrat hierfür die wesentliche Grundlage gelegt. Die hierin festgeschriebenen Anforderungen an Bauwerke aller Art wurden durch die darauf aufbauenden Grundlagendokumente konkretisiert.

Mit der Ausarbeitung Europäischer Baunormen wurde das Europäische Komitee für Normung CEN durch die EG beauftragt. Der organisatorische Rahmen und eine ausführliche Gesamtübersicht über die Europäische Baunormung kann [Breitschaft, 1992] entnommen werden. Seit dieser Beauftragung sind viele Europäische Grundnormen des konstruktiven Ingenieurbaus als sogenannte Eurocodes ECs erarbeitet und veröffentlicht worden. In Deutschland wird entsprechend einer Bund-Länder-Vereinbarung die gesamte Baunormung durch das Deutsche Institut für Normung DIN koordiniert, und die zentrale Zulassungsstelle für alle Bauprodukte ist das Deutsche Institut für Bautechnik DIBT.

Nach ersten (negativen) Erfahrungen mit der Anwendung der neuen Europäischen Baunormen ECs entschloss sich 1994 der Normenausschuss Bau NABau im DIN zu einer 2-Schritt-Strategie zu deren bauaufsichtlicher Einführung: Zunächst sollten die vorhandenen deutschen Baunormen noch einmal im inhaltlichen Sinne der jeweiligen ECs überarbeitet werden und dann noch für eine Übergangszeit Gültigkeit erlangen. Erst danach, vermutlich im nächsten Jahrzehnt, sollen dann die ECs synchron mit anderen europäischen Mitgliedsländern bauaufsichtlich eingeführt werden. Die ersten fertigen europäisierten Überarbeitungen dieser Normen, nämlich DIN 1045-1 (Stahlbetonbauwerke), DIN 1055-100 (Tragwerkssicherheit), DIN E 1055-4 (Windlasten) und DIN 4149 (Erdbeben), wurden diesem Forschungsvorhaben in den bisherigen Abschnitten 8.2, 8.3 und 8.6 zugrunde gelegt.

Defiziterkennung

Insgesamt ist festzustellen, dass alle baulichen Anlagen und Tragwerke in Deutschland derzeit (und generell zu jeder Zeit) auf Baunormen sehr unterschiedlichen Inkrafttretens, d.h. unterschiedlichen Standes der Technik, basieren. Derzeit liegen der Bausubstanz Deutschlands alte und neue DIN-Normen, Eurocodes sowie TGL-Vorschriften aus dem Baurecht der früheren DDR und DIN-Normen des Deutschen Reiches zugrunde.

Alle diese Regeln spiegeln im Allgemeinen unterschiedliche Sicherheitsniveaus der baulichen Gefahrenabwehr wider, wobei die moderneren europäischen Regelungen generell ein leicht erhöhtes Sicherheitsniveau, verglichen mit den älteren, anstreben. Wegen der langen Nutzungsdauer baulicher Anlagen von im Mittel $>$ 60 Jahren ist dies für jede Volkswirtschaft eine völlig übliche Situation: Die Normentreue ihrer Bausubstanz schleppt sich immer um ein bis zwei Jahrzehnte hinter dem Stand der Technik hinterher. Sie kann nur durch sehr gezielte Rehabilitationsmaßnahmen, meist im Zusammenhang mit notwendigen Reparaturen, angehoben werden, denen häufig der Bestandsschutz entgegensteht. Für bestimmte Klassen von stark sicherheitsrelevanten Bauwerken allerdings, wie Straßenbrücken, Kunstbauten der Bahn, Kraftwerken und anderen Bauten der Versorgungsinfrastruktur, Kerntechnischen Anlagen, erfolgen Anpassungen an den aktuellen Stand der Technik in viel kürzeren Zeiträumen. Für immissionsschutzrechtlich genehmigte Anlagen bzw. Betriebsbereiche gemäß der StörfallV wäre dies sicherlich in gleichem Maße wünschenswert, auch geben sowohl BImSchG als auch StörfallV den rechtlichen Rahmen hierfür her (Dynamische Grundpflichten, Möglichkeit der nachträglichen Anordnung bis zum Genehmigungswiderruf), aber nach Kenntnis der Berichterstatter werden diese i.d.R. kaum ausgeschöpft.

### 8.7.1.2 Baurechtliche Sicherheitsdefizite durch BImSchG-Mitgenehmigung

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz BImschG 9/2002 verfügt im §10 (5) über die Organisation des Genehmigungsverfahrens einer genehmigungspflichtigen Anlage folgendes Vorgehen:

> *Die für die Erteilung der Genehmigung zuständige Behörde holt die Stellungnahme der Behörden ein, deren Aufgabenbereich durch das Vorhaben berührt ist. Soweit für das Vorhaben ... eine Zulassung nach anderen Gesetzen vorgeschrieben ist, hat die Genehmigungsbehörde eine vollständige Koordination der Zulassungsverfahren sowie der Inhalts- und Nebenbestimmungen sicherzustellen.*

Die für die immissionsschutzrechtliche Genehmigung einer Anlage zuständige Behörde wird daher in aller Regel das örtliche Bauaufsichtsamt um Amtshilfe ansuchen, wo nach Maßgabe der geltenden Landesbauordnung BauO und der Verordnung über bautechnische Prüfungen BauPrüfVO entschieden werden wird. Deutsche Landesbauordnungen unterscheiden Baukörper einzig nach deren Höhe. Beispielsweise unterscheidet die BauO NRW [Minister NRW, 2000] im §3 gemäß der Bundes-Musterbauordnung:

- Gebäude geringer Höhe: Fußböden unterhalb 7 m über Geländeoberfläche;
- Gebäude mittlerer Höhe: Fußböden unterhalb 22 m über Geländeoberfläche;
- Hochhäuser: Der Fußboden mindestens eines Raumes liegt mindestens 22 m über Geländeoberfläche.

Damit wird der Sorgfaltsaufwand für Entwurf, Berechnung und Konstruktion des Tragwerks auch einer Anlage nach seiner Bauhöhe eingestuft und nicht etwa nach dem Gefährdungspotenzial der Produktionsanlage.

Zwar verlangt beispielsweise die BauO NRW im §15 (1) zur Standsicherheit:

> *Jede bauliche Anlage muss im Ganzen und in ihren Teilen sowie für sich allein standsicher sein. Die Standsicherheit anderer baulicher Anlagen und die Tragfähigkeit des Baugrundes dürfen nicht gefährdet sein.*

Die bürokratischen Verfahrensweisen zur Erreichung dieser Ziele sind aber wenig stringent. Grund hierfür ist die politisch propagierte „Entbürokratisierung“ der Baugenehmigungsverfahren in den vergangenen 20 Jahren. Bei Gebäuden geringer Höhe genügt nämlich die schriftliche Versicherung des Bauherrn, dass den Ausführungsplänen eine statische Berechnung zugrunde liegt. Bei Gebäuden mittlerer Höhe, d.h. bis ca. 25 m Traufhöhe, muss die statische Berechnung vorliegen, sie braucht jedoch nicht von einem staatlich anerkannten Prüfingenieur geprüft zu werden (Vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach BauO NRW, §67). Erst für Hochhäuser muss eine

statische Berechnung Basis der Konstruktionszeichnungen sein, sie muss von einem Prüfingenieur geprüft werden, und es müssen Bauüberwachungen sowie -abnahmen durchgeführt werden.
Zwar gilt alles dies streng genommen nur für Wohngebäude, doch diese Einschränkung ist aus der BauO NRW nicht leicht herauszulesen. Erst in der im Jahre 2000 novellierten Ausgabe [Minister NRW, 2000] findet sich im § 68 (Vereinfachtes Genehmigungsverfahren) in der Aufzählung unter (1) im Unterpunkt 15 ein Hinweis, wann das vereinfachte Verfahren nicht angewendet werden darf:

> *15. (bei) baulichen Anlagen und Räumen, deren Nutzung mit Explosionsgefahr oder erhöhter Brand-, Gesundheits- oder Verkehrsgefahr verbunden ist, und Anlagen, die am 1. Januar 1997 in der 4. Verordnung zur Durchführung des BImSchGs enthalten waren.*

Vor dem Jahre 2000 wurden vermutlich die meisten Anlagen in NRW bautechnisch nach Höhe klassifiziert und vereinfacht genehmigt. Dies bedeutete schon damals, nicht erst heute, ein stark reduziertes bauliches Sicherheitsniveau, auch gegenüber Sturm- und Erdbebengefährdung. Ob heutige Anlagengenehmigungen nach BImSchG immer noch so praktiziert werden, ist von uns derzeit nicht feststellbar. Es darf nach allen bisherigen Erfahrungen für wahrscheinlich vermutet werden.

Maßnahmen zur Defizitabstellung

Zur Abstellung der erläuterten Defizite müsste zuerst festgestellt werden, ob alle 16 deutschen Bauordnungen nunmehr eine derartige ausschließende Formulierung im Hinblick auf Anlagen enthalten. Danach sollten die Genehmigungsbehörden im Verfahren nach dem BImSchG im Einvernehmen mit den Baubehörden verpflichtet werden immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige bauliche Anlagen und bauliche Anlagen in Betriebsbereichen nur analog dem strengsten baulichen Genehmigungsverfahren der jeweiligen BauO im Rahmen des BImSchG-Verfahrens zu genehmigen, wie dies eigentlich gesetzlich vorgeschrieben ist: Somit müssen statische Berechnungen allen Baukonstruktionen und -maßnahmen zugrunde liegen. Beides muss Bestandteil der Bauakte sein und von einem staatlich anerkannten Prüfingenieur geprüft werden. Diese Unterlagen müssen gleichfalls, soweit dies im Verfahren terminlich möglich ist, dem Genehmigungsantrag nach BImSchG beiliegen, bzw. deren Vorlage als Auflage im BImSchG-Genehmigungsbescheid vor Baubeginn gefordert werden. Darüber hinaus sind die Tätigkeiten der Sachverständigen für Anlagensicherheit mit den Prüfingenieuren / Sachverständigen für Standsicherheit

durch die Genehmigungsbehörden besser zu koordinieren. Außerdem müssen Bauüberwachungen sowie Bauabnahmen entsprechend der jeweils gültigen Landes-BauO durchgeführt werden.

#### 8.7.1.3 Baurechtliche Prüfung und immissionsschutzrechtliche Genehmigung

Das baurechtliche Genehmigungsverfahren in seiner höchsten Stufe wird in Deutschland sehr streng gehandhabt. Es bestimmt i.a. einen staatlich anerkannten Prüfingenieur als vom Bauordnungsamt mit hoheitlichen Funktionen „beliehenen“ Fachmann, der folgende Aufgaben wahrnimmt:

- Kenntnisnahme des Baugrundgutachtens, Beurteilung und gegebenenfalls Korrekturveranlassung;
- Prüfung aller statischen Berechnungen;
- Prüfung aller Konstruktionsunterlagen;
- Stichprobenartige Überwachung und Abnahme aller Baumaßnahmen.

Jeder dieser Schritte wird protokolliert und muss in einem Prüfbericht festgehalten werden. Prüfberichte sind als hoheitliche Dokumente Bestandteil der Bauakte, die für die gesamte Lebensdauer einer baulichen Anlage beim zuständigen Bauamt vorliegt. Prüfberichte können für größere Baumaßnahmen, beispielsweise Kraftwerke, durchaus mehrere Hundert Seiten DIN A4 umfassen.

Werden Bestandteile einer Produktionsanlage als Bauwerk eingestuft, so werden sie genau in dieser Weise baurechtlich genehmigt. Bei allen „Nicht-Bauwerken“ fehlt eine derartige Begleitung durch einen staatlich anerkannten, mit hoheitlichen Funktionen beliehenen Fachmann. Aber selbst im ersteren Fall schlummern i.a. die Prüfberichte in der Bauakte des betroffenen Bauordnungsamtes. Ihr Inhalt, der oftmals viele für den späteren Betrieb der Gesamtanlage relevante Regelungen enthält, führt für die genehmigenden Behörden nur allzu häufig ein Schattendasein.

<u>Defizitbehebung</u>

Die Prüfberichte des baurechtlichen Genehmigungsverfahrens sollten in einer vom Prüfingenieur erstellten Kurzform bei der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung verfügbar sein und Bestandteil der Sicherheitsberichte werden.

Die Einhaltung aller baulichen Anforderungen, die über die Anforderungen an übliche Bauwerke hinausgehen, muss im immissionsschutzrechtlichen Verfahren zusätzlich zum Verfahren nach Bauordnung geprüft werden. Dies erfolgt i.d.R. für den Brandschutz (vgl. auch Tätigkeiten der Sachverständigen für Anlagensicherheit), jedoch nicht für die Tragwerkssicherheit. Hier sind schlicht die Kenntnisse bei den immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsbehörden und wohl auch bei den Sachverständigen nicht vorhanden, wodurch meist auch die Sensibilisierung für den Themenbereich fehlt.

Weiter war/ist klar, dass Fragen der baulichen Sicherheit von Tragwerken/Bauwerken in der Sicherheitsanalyse/dem Sicherheitsbericht gesondert zu analysieren sind. Dies erfolgt heute i.d.R. nicht. Zur Abhilfe wird folgendes prinzipielle Vorgehen vorgeschlagen:

a) Formulierung der Anforderungen an Bauwerk und Tragwerk durch den Antragsteller oder den Sachverständigen für Anlagensicherheit und Übermittlung an den Tragwerks/Bauwerksplaner sowie den Prüfingenieur.
b) Berücksichtigung dieser Anforderungen bei Planung und Prüfung. Erstellung eines Berichtes über die Umsetzung durch den Tragswerks-/Bauwerksplaner.
c) Prüfung desselben durch den Prüfingenieur und Erstellung eines Prüfberichts, Prüfung des Prüfberichts durch die immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde.
d) Berücksichtigung des Umsetzungsberichtes und der Prüfungsergebnisse im Sicherheitsbericht.
e) Prüfung der Umsetzung im Rahmen von Inspektionen nach § 16 StörfallV.

#### 8.7.1.4 Kombinierte Risiken (Combined Risks)

Traditionell behandelt die Risiko- und Gefahrenabwehr in der Technik zumeist getrennte Einzelrisiken. So werden in der baulichen Gefahrenabwehr stets Sturm und Erdbeben als nicht gleichzeitig wirkend betrachtet, und beide Einwirkungen treten stets ohne Berücksichtigung von Schneelasten auf.

Aber auch betriebliche Risiken werden in der baulichen Gefahrenabwehr nur in festgeregelten, engen Bahnen berücksichtigt. Lediglich der bauliche Brandschutz bietet seit ca. 20 Jahren EU-weit ein Musterbeispiel für die präventive Berücksichtigung (bedeutsamer) betrieblicher Risiken auf die Bausubstanz und ihre Benutzer. Alles

hierüber Hinausgehende weist große Behandlungsdefizite auf. Oft werden Risiken erst nach Katastrophen als solche wahrgenommen, wie die Behandlung der Wirkung von Druckwellen oder von lokalen Explosionen auf Tragwerke deutlich zum Ausdruck bringt.

Seit langem ist man sich bewusst, dass diese getrennten Betrachtungen den Risikopotenzialen moderner Industriegesellschaften nicht gerecht werden, insbesondere, wenn auch die Produktionsprozesse noch Gefahrenpotenziale beinhalten. Gelegentlich unterscheidet man daher zwischen primären und sekundären Risiken, und versucht, beide in eine Risikobeurteilung zu integrieren. So kann bei einem erdbebenbeanspruchten Bauwerk dessen tragende Konstruktion diesem durchaus standhalten. Sekundärrisiken, beispielsweise infolge umstürzender nichttragender Innenwände, einstürzender abgehängter Decken, umfallender Ausstattungsgegenstände, wegen Leitungsundichtigkeiten austretender Gase (brennbar, nicht brennbar jedoch giftig), Inbrandsetzung der Ausstattung, austretendes Wasser (heiß, kalt) durch Leitungsbrüche oder freigesetzte Radioaktivität (Diagnosestationen in Krankenhäusern), stellen möglicherweise ein erheblich bedrohlicheres Gefahrenpotenzial dar als das primäre Erdbebenrisiko.

Die große Schwierigkeit bei der Behandlung derartiger Kombinationsrisiken liegt in der gleichartigen Quantifizierung zwecks holistisch-akkumulativer Bewertung der verschiedenen Risikopotenziale. Aus diesem Grund verbleiben Forschungen hierüber derzeit auch zumeist im Verbalen [Mileti, 1999]. Aber auch administrative Organisationsformen, beispielsweise Zuständigkeiten in unterschiedlichen Ministerien, können erhebliche Integrationshemmnisse bilden. So könnte es ein bemerkenswerter erster Schritt sein, dass im Herbst 2004 der US-Kongress ein kombiniertes Risiko-Reduktionsprogramm für Erdbeben-, Sturm- und Hochwasser-Risiken mit erheblichen Forschungsmitteln (jährlich 25 Mio $ je Einzelrisiko) beschlossen hat. Dieses wurde nach Inkraftsetzung durch den Präsidenten in der Federal Emergency Management Agency FEMA angesiedelt. Gleichzeitig wurde FEMA, die nationale Agentur für Katastrophenmanagement, dem US Department for Homeland Security administrativ unterstellt [Landers, 2004].

Defiziterkennung

In modernen Industriegesellschaften können bauliche Anlagen in ungleich vielfältigerer Weise kombinierten Risiken, beispielsweise Zusatzrisiken aus Produktionsprozessen, ausgesetzt sein, als dies noch vor wenigen Jahrzehnten der Fall war. Den

Ausschluss solcher erhöhten Kombinationsrisiken erwartet die Allgemeinheit. Sowohl der Stand der Technik als auch der Stand von Wissenschaft und Forschung scheinen den aktuellen Problemen derzeit nicht begegnen zu können.

### 8.7.1.5 Wirksamwerden von Naturrisiken

In der Leistungsbeschreibung wird die Frage aufgeworfen, was bei Wirksamwerden eines Naturereignisses geschieht, also bei größeren Sturmschäden oder Schäden durch ein Erdbeben? Aus Sicht des Bauordnungsrechtes ist die Beantwortung einfach: Das Baurecht, national wie auch international betrachtet, regelt hier nichts. Das Baurecht vertritt den Standpunkt, dass bauliche Anlagen gegen Naturrisiken durch technische Regeln bis zu einer von der Volksgemeinschaft akzeptierten Einwirkungshöhe abzusichern sind. Werden dennoch Naturrisiken virulent, so wird zunächst nach schuldhaftem Verhalten von Beteiligten gesucht. Wird dieses nicht entdeckt, handelt es sich um eine Naturkatastrophe.

Dieses einfache Betrachtungsschema kann man bei fast jedem Schadensereignis infolge von Naturrisiken erkennen, welches uns die Medien monatlich ins Haus liefern. Auf immissionsrechtlich genehmigungspflichtige Anlagen übertragen setzt dies voraus, dass die Auftretenswahrscheinlichkeit des Naturrisikos hinreichend klein und die bautechnische Risikoabsicherung hinreichend groß ist.

Ganz andere Antworten ergeben sich allerdings auf Grundlage der Betreiberpflichten nach StörfallV. Hier heißt es u.a.:

§ 3 Allgemeine Betreiberpflichten

(1) Der Betreiber hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern; Verpflichtungen nach anderen immissionsschutzrechtlichen Vorschriften bleiben unberührt.

(2) Bei der Erfüllung der Pflicht nach Absatz 1 sind
1. betriebliche Gefahrenquellen,
2. umgebungsbedingte Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser, und
3. Eingriffe Unbefugter

zu berücksichtigen, es sei denn, dass diese Gefahrenquellen als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können.

(3) Über Absatz 1 hinaus sind vorbeugende Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich halten zu können.

§ 5 Anforderungen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen

(1) Der Betreiber hat zur Erfüllung der sich aus § 3 Abs. 3 ergebenden Pflicht ins besondere

1. Maßnahmen zu treffen, damit durch die Beschaffenheit der Fundamente und der tragenden Gebäudeteile bei Störfällen keine zusätzlichen Gefahren hervorgerufen werden können,
2. die Anlagen des Betriebsbereiches mit den erforderlichen sicherheitstechnischen Einrichtungen auszurüsten sowie die erforderlichen technischen und organisatorischen Schutzvorkehrungen zu treffen.

Resümee

Liest man mit diesen Hintergrundinformationen die Abschnitte 8.2, 8.3 und 8.6 dieses Forschungsberichtes, so drängt sich der Verdacht auf, dass zumindest die bautechnische Risikoabsicherung von Anlagen bzw. Betriebsbereichen nicht ausreichend sein könnte. Deren Tragwerkssicherheit beruht auf Baunormen, die nur Maßnahmen bis zum Wirksamwerden der Naturrisiken vorschreiben.

Nach den zitierten Regelungen der StörfallV ist zu fordern, dass

- in den Sicherheitsberichten und
- in den Alarm- und Gefahrenabwehrplänen

die zu ergreifenden Maßnahmen nach Sturm- oder Erdbebenschäden aufzuführen sind. Dies setzt die Erarbeitung detaillierter Gefährdungsszenarien (Gefahrenquellenanalysen und Auswirkungsbetrachtungen) nebst Abwehrmaßnahmen voraus (siehe Abschnitte 8.7.2.3 und 8.7.3.5). Für Betriebsbereiche besteht Forschungsbedarf.

## 8.7.2 Reduktion der Sturmgefährdung von Betriebsbereichen gemäß StörfallV

### 8.7.2.1 Höhere Windgeschwindigkeiten gemäß neuer DIN 1055-4 (03, 2005)

Seit mehr als 3 Jahrzehnten ist unter Fachleuten bekannt, dass die seit 1938 gültige (alte) DIN 1055-4 mit ihren einheitlichen Windlasten für Deutschland die geographische Sturmschadenverteilung nicht annähernd korrekt abbildet. Sturmschäden waren stets an allen Arten baulicher Anlagen in Norddeutschland signifikant stärker und häufiger vertreten als im deutschen Durchschnitt. Die neue DIN 1055-4 (03/2005) nimmt für sich in Anspruch, dieses Defizit durch Unterteilung Deutschlands in verschiedene Windzonen und durch Vorgabe genauerer Böenwindprofile beseitigt zu haben. Sie führt erstmalig seit Frühjahr 2005 nunmehr 4 Windzonen für alle bautechnischen Sicherheitsnachweise verbindlich ein. Dadurch müssen in Teilen der neuen Windzone 2 sowie in den Windzonen 3 und 4 zukünftig höhere Windlasten als bisher einem Tragwerksentwurf zugrunde gelegt werden [Peil, 2006]. **Abbildung 8.7.2.1.1** zeigt die nunmehr gültige Aufteilung der Bundesrepublik Deutschland in 4 Windzonen.

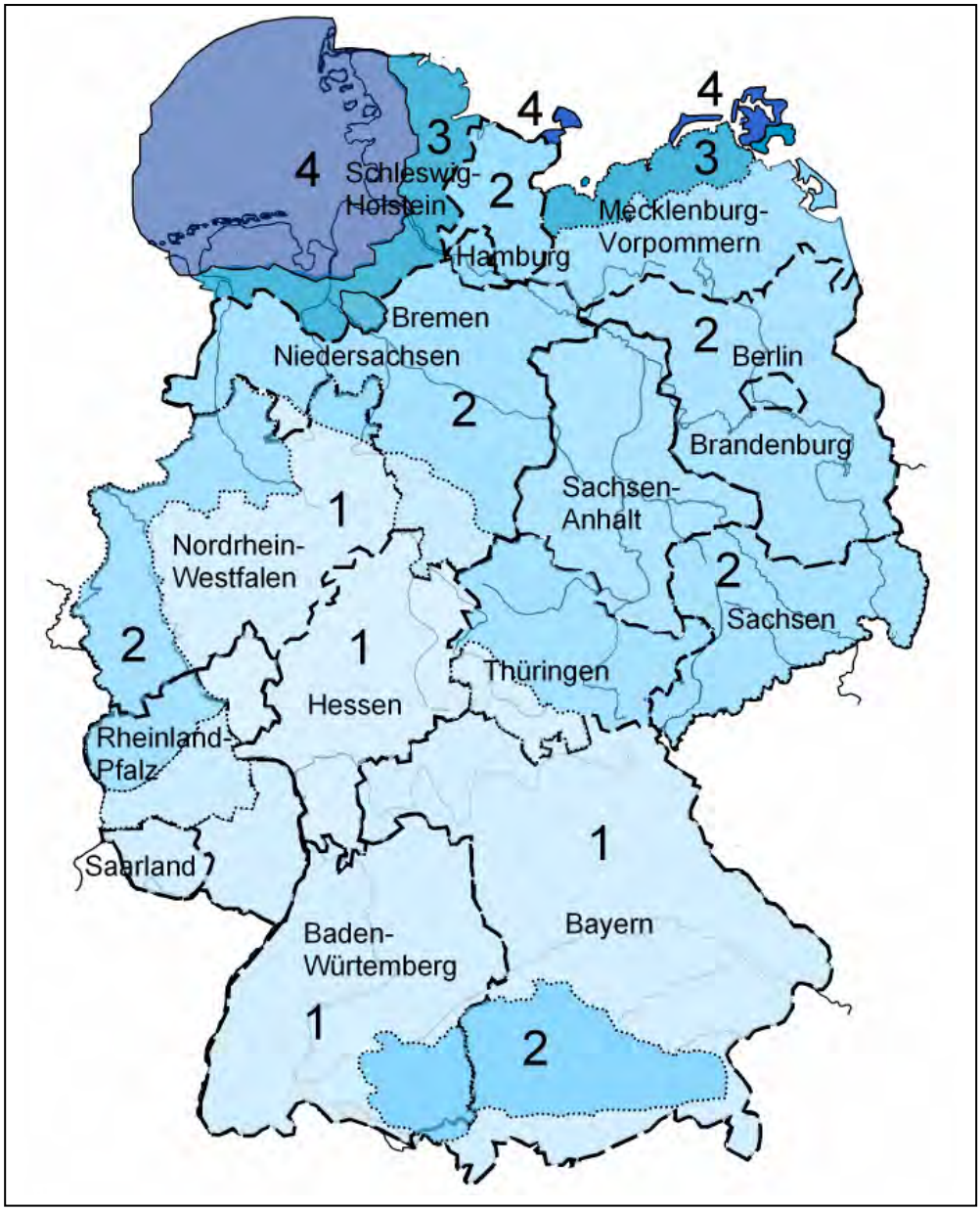



**Abbildung 8.7.2.1.1**: Windzonenkarte für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland nach DIN 1055-4: 2005

**Tabelle 8.7.2.1.1** enthält die zugehörigen zeitlich gemittelten Windgeschwindigkeiten $v_{ref}$ und Geschwindigkeitsdrücke $q_{ref}$. Nach wie vor beträgt der Mittelungszeitraum 10 min, die Bezugshöhe sind 10,00 m, und die Überschreitenswahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres ist 0,02 (Wiederkehrperiode: 50 Jahre).

Zwei wichtige Parameter jeder Sturmbeanspruchung sind die mittlere Bodenrauhigkeit und die Topographie in Objektnähe. Sie bestimmen die Höhenprofile der Windgeschwindigkeiten, der Geschwindigkeitsdrücke sowie der Turbulenzintensitäten.

**Tabelle 8.7.2.1.1**: Referenzgeschwindigkeiten $v_{ref}$ und -drücke $q_{ref}$ der Zonen 1 bis 4 für die deutsche Windzonekarte DIN 1055-4 nach Abbildung 8.7.2.1.1

| Windzone | $v_{ref}$ | $q_{ref}$ |
|---|---|---|
| WZ 1 | 22,5 m/s | 0,32 kN/m$^2$ |
| WZ 2 | 25,0 m/s | 0,39 kN/m$^2$ |
| WZ 3 | 27,5 m/s | 0,47 kN/m$^2$ |
| WZ 4 | 30,0 m/s | 0,56 kN/m$^2$ |

Da gleichzeitig mit der neuen DIN 1055-4 das generelle bautechnische Sicherheitsniveau auf das etwas höhere europäische Niveau nach DIN 1055-100 angehoben worden ist, darf vermutet werden, dass vorhandene Bauten nördlich der deutschen Mittelgebirge gegenüber moderner Abwehr von Sturmgefährdungen Sicherheitsdefizite aufweisen. Dies ist für die Mehrzahl der schweren Ziegel- und Stahlbetontragwerke der Wohnbebauung von untergeordneter Bedeutung, nicht aber für leichte stählerne Gerüste von Produktionsanlagen, beispielsweise der chemischen Industrie.

Letzteres ist auch die Ursache dafür, dass die einheitliche Windlast der alten DIN 1055-4 für Gesamtdeutschland nicht generell in der Vergangenheit zu starken Sturmschäden an vielen Bauwerken führte. Vor 70 Jahren zu Zeiten der Einführung der ersten Windnorm herrschten gegenüber heute für Wohnbauten erheblich schwergewichtigere Bauweisen vor, für die die Windbelastung keine dominante Rolle spielte. Dies gilt auch hinsichtlich der genaueren Profile der Böenwindgeschwindigkeiten der neuen Norm, die in **Tabelle 8.7.2.1.2** [Niemann, 2005] wiedergegeben sind.

**Tabelle 8.7.2.1.2**: Böenwindgeschwindigkeitsprofile in m/s der vier Windzonen in Abhängigkeit der Bodenrauhigkeit

| $v_h$ (z) | | Geländekategorie | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Windzone | $v_{ref}$ in m/s | I<br>offene See | II<br>offenes Gelände | III<br>Vorstadt, Wald | IV<br>Stadtgebiet |
| 1 | 22.5 | ---- | $32.6\ (z/10)^{0.120}$ | $28.6\ (z/10)^{0.155}$ | $23.6\ (z/10)^{0.200}$ |
| 2 | 25.0 | $40.3\ (z/10)^{0.095}$ | $36.3\ (z/10)^{0.120}$ | $31.8\ (z/10)^{0.155}$ | $26.3\ (z/10)^{0.200}$ |
| 3 | 27.5 | $44.3\ (z/10)^{0.095}$ | $39.9\ (z/10)^{0.120}$ | $34.9\ (z/10)^{0.155}$ | $28.9\ (z/10)^{0.200}$ |
| 4 | 30.0 | $48.3\ (z/10)^{0.095}$ | $43.5\ (z/10)^{0.120}$ | $38.1\ (z/10)^{0.155}$ | $34.5\ (z/10)^{0.200}$ |

Diese ersetzen die bekannte Treppenkurve der alten Regelung. Wie die Analyse der DIN 1055-4 zeigt, kann durch die differenzierte Einteilung in Windzonen der Geschwindigkeitsdruck im Süden und in der Mitte Deutschlands vermindert werden. In großen Teilen Norddeutschlands wird er nur geringfügig erhöht und erst in Teilen von Schleswig-Holstein, Niedersachsen und von Mecklenburg-Vorpommern ist eine spürbare Erhöhung von 25 bis 30 % anzusetzen. Der veralteten DIN 1055-4 lag ein aus heutiger Sicht zu geringer Bemessungsorkan zugrunde.

Heutige Bauweisen sind generell leichter als diejenigen von vor 70 Jahren und daher merkbar empfindlicher gegen Stürme. Dies gilt in besonderem Maße auch für Dachkonstruktionen auf Wohnbauten, deren Windangriffsflächen gleich blieben, deren Gewichte sich jedoch etwa halbierten. Die neue DIN 1055-4 schließt mit den von geografischen und klimatologischen Bedingungen abhängigen Windzonen eine erhebliche Sicherheitslücke, die in Spezialnormen für Schornsteine oder Antennenträger bereits seit über 30 Jahren nicht mehr besteht.

Defizitvermutung

Defizite in der Sturmsicherheit von Anlagen werden nach Auffassung der Berichterstatter mit hoher Wahrscheinlichkeit an leichten Tragwerken im norddeutschen Flachland bestehen. Sie könnten an exemplarischen, typisierten Einzeltragwerken im Zuge zusätzlicher Untersuchungen festgestellt werden.

### 8.7.2.2 Kriterien für sturmsichere Auslegung von Produktionsanlagen?

Stürme bilden ein globales Strömungsgeschehen der bodennahen Luftgrenzschicht mit starken lokalen Turbulenzen, siehe Abbildung 8.2.2.1. Die Referenzdrücke $q_{ref}$ nach Tabelle 8.7.2.1.1 bzw. die aus den Böengeschwindigkeitsprofilen der Tabelle 8.7.2.1.2 ermittelbaren höhenabhängigen Strömungs-Druckwerte sind Mittelungen, letztere immer noch über ein Zeitintervall von ca. 5 Sekunden. Diese Werte dienen unmittelbar der Tragwerksbemessung.

Dennoch ist die Ermittlung der Sturmsicherheit des Tragwerks einer einzeln stehenden Produktionsanlage, eines Solisten, alles andere als elementar. Die Sturmsicherheit hängt von einer ganzen Reihe von Bauwerkseigenschaften ab:

- vom Windprofil der betreffenden Windzone;
- von der räumlich-geometrischen Form des Solisten, da die bemessungsrelevanten Oberflächendrücke Funktionen des Um- bzw. Überströmungsvorganges darstellen (siehe die 38-seitige Sammlung der aerodynamischen Beiwerte in DIN 1055-4, Kapitel 12);
- vom Gewicht des Solisten und dessen Verteilung;
- von der Konstruktionsart des Tragwerks;
- von der gewünschten Sicherheit zwischen Sturmeinwirkung und Widerstand.

Die hieraus ermittelten einwirkenden Kräfte stellen – wie oben betont – Mittelwerte dar. Spitzenwerte von Böendrücken können kurzfristig und lokal erheblich ansteigen, erfahrungsgemäß bis zum Faktor 2,0, in Einzelfällen bis 2,5. Deswegen sieht man in Fernsehbildern von starken Stürmen auch immer wieder losgerissene Teile von Bauwerken, die als Trümmerflug Schäden an Nachbarbauwerken hervorrufen. Der genannte Erhöhungsfaktor 2,5 dient als „Faustformel“ zur Befestigungsdimensionierung exponierter Baukörper.

Resümee

Das Windingenieurwesen bildet eine wichtige Komponente des Bauingenieurwesens zur Erzielung hinreichender Sturmsicherheit. Generelle Kriterien dieses Gebietes existieren nicht, es sei den, man akzeptiert Aussagen wie „je schlanker, je leichter, je eckiger, je exponierter, desto sturmgefährdeter“ als solche. Überschlagsformeln zur Sturmsicherheit führen eher zu Schäden als dass sie nützen. Für eng begrenzte

Probleme, beispielsweise die Gleitsicherheit von Containern, lassen sich natürlich „Faustformeln“ aufstellen, wie „doppelte Windkraft kleiner halbes Gewicht“.

### 8.7.2.3 Topographischer Umgebungseinfluss: Grenzschicht-Windkanäle

In vielen Fällen stehen in Deutschland Produktionsanlagen in engen Abständen untereinander und zu Nachbaranlagen. Damit wird sowohl hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten und Geschwindigkeitsdrücke als auch hinsichtlich der aerodynamischen Druckbeiwerte die Annahme der DIN 1055-4 verletzt, nach welcher diese vornehmlich Windwirkungen auf Solisten beschreibt. Auch in den normativen Regelungen der DIN 1055-4, Anhang B: Geländerauhigkeit und Topographie werden für die zugeordneten Höhenprofile diese Eigenschaften als über mehrere Kilometer gleichartig angesehen, damit sich die Böengeschwindigkeiten der Tabelle 8.7.2.1.2 einstellen können.

Gerade in Produktionsanlagen ist jedoch die räumliche Auflösung wegen der zumeist dichten Einzelbebauung erheblich geringer. In ihnen können daher durch vorgelagerte Baukörper sowohl beträchtliche Windabschattungen (Druckreduzierungen) als auch statische (Druckerhöhungen durch Strömungskanalisierung) und dynamische Interferenzen (Schwingungsanregungen infolge Wirbelablösungen) auftreten. Gerade Interferenzwirkungen können Geschwindigkeitsdrücke gegenüber Solisten erheblich anwachsen lassen: Aus Erfahrungen des Autors sind lokale Interferenzfaktoren bis 1,5 keine Seltenheit und solche von 1,2 – 1,3 die Regel.

Zur sicheren Ausschaltung derartiger Unsicherheiten in der Sturmbelastung von Tragstrukturen werden heute Grenzschicht-Windkanäle eingesetzt [WTG, 1993]. Im Gegensatz zu den Windkanälen des Flugzeugsbaus, die möglichst turbulenzfreie Strömungen anbieten, modellieren diese Anlagen die bodennahe Grenzschicht der Windströmung mit deren Turbulenzstruktur. Hierzu dienen vor dem eigentlichen Messbereich angeordnete Ablösekanten, Stolperleisten und Turbulenzkörper, die das jeweilige Geschwindigkeitsprofil nach DIN 1055-4 in dem gewählten Modellmaßstab einstellen. In den eigentlichen Messbereich des Kanals wird sodann ein Modell der Anlage maßstabsgerecht zur Strömung eingesetzt [Sahlmen et.al., 2004]. Dieses kann zur Ermittlung statischer (zeitunabhängiger) Interferenzen starr sein. Für dynamische Interferenzen muss es aber auch die Deformationseigenschaften und Massen der kritischen Baukörper maßstabsgerecht abbilden. Als Messtechniken

werden zumeist kleinste Druckmessgeräte oder Dehnungsmessstreifen eingesetzt. Durch Untersuchungen in Grenzschicht-Windkanälen können insbesondere auch windrichtungsabhängige Interferenzen als häufige Schadensursachen in Produktionsanlagen identifiziert werden [Sahlmen et.al., 2004]. **Abbildung 8.7.2.3.1** zeigt den Grenzschicht-Windkanal der Ruhr-Universität Bochum mit dem Modell der neuen Doppelblock-Anlage im RWE-Kraftwerk Neurath.

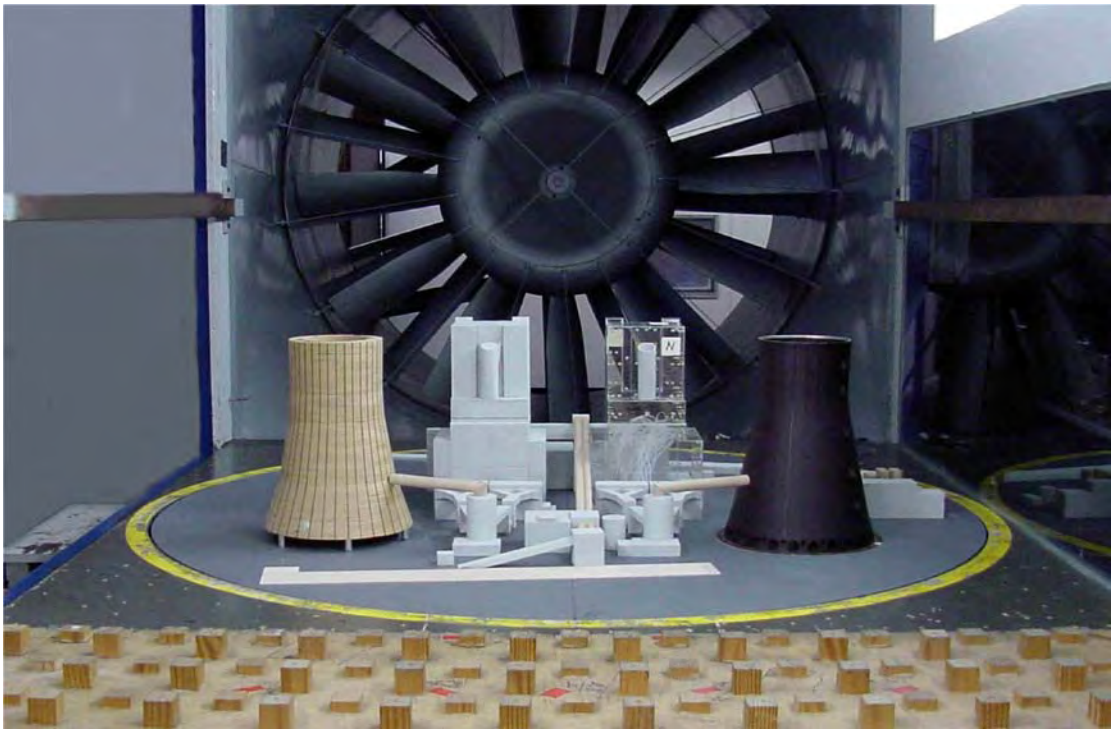


**Abbildung 8.7.2.3.1**: Grenzschicht-Windkanal mit Kraftwerksmodell, M 1:600

Es ist interessant, dass Windkanaluntersuchungen zumeist erst nach aufgetretenen Schäden eingesetzt werden. Die RWE AG verzeichnete ab ca. 1958 erhebliche Betriebsausfälle infolge Ventilatorschäden an ihren großen Zwangskühlern, weshalb ab 1965 an allen neuen Kraftwerksblöcken mit Leistungen ≥300 MW Naturzugkühltürme vorgesehen wurden. Am 01.11.1965 stürzten im ersten Herbststurm des Jahres in Ferrybridge (GB) drei große Naturzugkühltürme von 112 m Höhe ein, siehe Abbildung 8.2.2.2. Seit dieser Zeit werden alle Kraftwerksneubauten in Deutschland in Grenzschicht-Windkanälen geplant. Von den zwischen 1965 und 1984 insgesamt weltweit durch Stürme zerstörten zehn Naturzugkühltürmen [Krätzig, 1983] wurde Deutschland nicht betroffen. Ein Grund waren exaktere, in Grenzschicht-Windkanälen experimentell ermittelte Windlasten als Planungsvorgaben [Niemann, 1993], der andere zweifelsohne das überlegene Sicherheitskonzept.

Defizitbehebung

Aufgrund dieser Erfahrungen wird von den Berichterstattern empfohlen, dass möglichst vor Eintritt, spätestens aber nach einem Sturmschaden, sowie bei größeren Umbauten die genehmigenden Behörden bei komplexen Anlagen darauf dringen sollten, die Sturmgefährdung betroffener bzw. exponierter Baukörper und von Gesamtanlagen durch Grenzschicht-Windkanalversuche zu analysieren. Grenzschicht-Windkanäle verkörpern das modernste Vorgehen, um zukünftige Sturmschäden in Anlagen mit normengerechter Sicherheit auszuschließen. Sie gestatten mit der feinsten heute verfügbaren Auflösung lokale Druck- oder Sogspitzen an komplexen geometrischen Strukturen, wie sie in Produktionsanlagen auftreten können, zu bestimmen und so durch gezielte Verstärkungen größere Sturmschäden bereits im Entstehen zu vermeiden.

### 8.7.2.4 Tragwerkssicherheit gegen höhere lokale Sturmgeschwindigkeiten

Wie im Kapitel 8.2 ausgeführt, beruhen die bemessungsrelevanten Referenzgeschwindigkeiten und Staudrücke der DIN 1055-4 auf langjährigen Messungen des Deutschen Wetterdienstes. Meteorologische und windtechnologische Grundlage sind atlantische Zyklone, von denen Mitteleuropa vornehmlich heimgesucht wird. Auch die Einhaltung aller Festlegungen der (alten) DIN 1055-4 verursacht noch immer beträchtliche jährlich auftretenden materielle Sturmschäden sowie auch Verluste an Menschenleben, jedoch scheinen beide von der Öffentlichkeit und der Assekuranz akzeptiert zu werden. Selbstverständlich existieren in der Natur erheblich höhere lokale Sturmgeschwindigkeiten sowie Oberflächendrücke als die Referenzwerte der Norm, die in Sonderfällen auch sicherheitsrelevant sein können. Hierfür gibt es mindestens drei Gründe:

Anemometerträgheit: Die meisten Windschreiber (Anemometer) sind mechanische Konstruktionen, deren Trägheit die Registrierung von Böengeschwindigkeiten unterhalb von Böendauern von 3 – 5 s nicht zulässt. Diese zeitliche Auflösung der Turbulenzstruktur wird für übliche Baukonstruktionen als ausreichend angesehen. Zuverlässige Informationen über Sturmgeschwindig-

keiten kürzerer Dauer als 3 – 5 s sind, abgesehen von der wissenschaftlichen Forschung, nicht verfügbar.

Turbulenzstruktur: Die quer zur Sturmrichtung gemessene räumliche Auflösung der Turbulenzstruktur ist eine Funktion der Größe der betrachteten Einflussfläche, über welche die Strömungsgeschwindigkeiten gemittelt werden, in DIN 1055-4 (03/2005) als Lasteinzugsfläche A bezeichnet. Üblicherweise gilt die Regel, dass $A \approx 80$ m² beträgt. Die neue DIN 1055-4 bezieht im Abschnitt 12 Druckbeiwerte, allerdings nur für prismatische Körper, auf Lasteinzugsflächen von $A_{pe,\,10} = 10$ m², und es werden auch solche für $A_{pe,1} = 1$ m² angegeben. Letztere liegen um mindestens 15% über ersteren, Spitzenwerte um mehr als 50%.

Diese generelle Unkenntnis oder Nichtbeachtung lokal erheblich verstärkter Winddruck- oder Windsogwerte stellt eine häufige Versagensursache sturmbeanspruchter Tragwerke dar. Jährlich kehren im Fernsehen bei Herbststürmen in Norddeutschland Bilder von abgerissenen, heruntersegelnden Dachteilen wieder, die fast immer hierin ihre Ursache finden. Sorgfältigeres Planen und Ausführen der Bauten würde dies verhindern.

Tornados: Auch Deutschland wird, mit einer äußerst niedrigen Auftretenswahrscheinlichkeit, von Tornados heimgesucht. Unterstellt man die Luft als inkompressibles Medium, was in der Meteorologie üblich ist, so ist die horizontale Strömungsgeschwindigkeit im Zentrum jedes Wirbelsturms unendlich groß. Diese Singularität tritt wegen (geringer) Kompressibilität der Luft, des Wärmeeinflusses, vor allem aber wegen des vertikalen Ausweichens der Luftmassen nach oben natürlich nicht auf. Letzteres führt zu den berühmten abhebenden Kräften im Tornadozentrum, welche ganze Häuser, LKWs oder lagernde Gebinde durch die Luft segeln lassen.

Der Bereich dieser extremen Strömungsgeschwindigkeiten ist natürlich sehr klein, er dürfte bei Tornados in Mitteleuropa wenige 10 m² betragen. Deshalb sind die dort auftretenden

Geschwindigkeiten auch noch nie von einer meteorologischen Station gemessen worden. Auch aus dem Tornado-Gürtel im Süden der USA liegen über die auftretenden Spitzengeschwindigkeiten stets nur Schätzungen vor. Weiter vom Zentrum entfernt fallen die Windgeschwindigkeiten schnell ab und liegen bald weit unter den Bemessungswerten der DIN 1055-4.

Defiziterkennung

Wichtig für die Anlagensicherheit in Deutschland erscheint hiervon allein der unter dem Stichwort Turbulenzstruktur behandelte Gesichtspunkt. Für diese lokalen Spitzenwirkungen sind alle bautechnischen Grundlagenkenntnisse verfügbar. Kritisch ist deren Umsetzung in der Praxis des Anlagenbaus. Oft fehlen den Anlagenbauern hinreichende windtechnologische Kenntnisse. Auch wegen häufig ausbleibender baustatischer Prüfung von Berechnung und Konstruktion sowie fehlender Bauüberwachung dürften Sicherheitsdefizite im Anlagenbau vermutet werden.

Ungeklärt bleibt die Frage, ob die vornehmlich für den Wohnungsbau und öffentlichen Bau entwickelten Windlastansätze dem erheblich höheren Schadenspotenzial von Anlagen in Betriebsbereichen nach StörfallV überhaupt gerecht werden.

### 8.7.2.5 Einfluss von Klimaänderungen?

Bei der Behandlung von Sturmwirkungen auf Bauten liegt – auch unter Einschluss jüngerer Diskussionen über deren soziale Akzeptanz - die Frage nach dem Einfluss möglicher globaler Klimaänderungen nahe. Müssten insbesondere bei einer so langen Novellierungsdauer wie im Fall der Windnorm DIN 1055-4 von über 20 Jahren nicht vorsorglich größere Sturmstärken berücksichtigt werden, wie sie infolge möglicher Klimaänderungen zukünftig auch in Deutschland auftreten könnten?

Zu dieser Frage ist den Berichterstattern nur eine einzige Publikation [Niemann, 2005] bekannt, die außerdem diese Frage eindeutig verneint. Durch eine persönliche Mitteilung ist den Berichterstattern bekannt, dass die langfristigen Sturmstatistiken des Deutschen Wetterdienstes daraufhin sorgfältig statistisch überprüft wurden, ob

sich ein Trend zu zunehmenden Spitzengeschwindigkeiten andeutet. Alle Auswertungen lieferten offenbar keine Argumente, um bereits heute Lasterhöhungen zu begründen, allerdings zeigten sie deutlich den Trend zu einer größeren Häufigkeit extremer Sturmereignisse in Deutschland.

### 8.7.2.6 Sturmschaden-Vorsorge durch Nachrüstmaßnahmen

Schadensfälle oder Beinahe-Schäden infolge Sturm- und Windeinwirkungen werden in solche infolge statischer (zeitunabhängiger, stationärer) Winddruckeffekte und in solche infolge dynamischer Windwirkungen (Windschwingungen) unterteilt [Den Hartog, 1965]. Beide treten an Baukonstruktionen immer wieder auf. Sie sind selbstverständlich stets durch geeignete Nachrüstungen zu beheben, auch präventiv, erfordern jedoch grundsätzlich unterschiedliche Konzepte und Maßnahmen.

Schäden infolge stationärer Windeinwirkungen sind im Bauwesen weit verbreitet, meist besitzen sie ihre Ursache in der Unterschätzung der Sturmeinwirkungen als Folge miserabler Planungen: Produktionshallen, deren Tore ab gewissen Windstärken wegen unzulässiger Verformungen der Dachkonstruktion nicht mehr geöffnet werden dürfen; Flachdächer, die, gerade repariert, nach jedem Herbststurm wieder regendurchlässig werden; sich wiederholende Sturmschäden an großflächig verkleideten (hinterlüfteten!) Fassaden; im Sturm abgehobene und weggewehte Dachkonstruktionen: Die jährlich wiederkehrenden Schadensbilder sind von großer Vielfalt und erschreckender Häufigkeit bei stets ähnlichen Ursachen.

Meist beseitigen zusätzliche lokale Befestigungselemente oder deren Verstärkungen den Schaden, gelegentlich müssen Gesamtkonstruktionen verstärkt werden und in seltenen Ausnahmen werden Ballastierungen, beispielsweise der Fundamente, erforderlich. Fast immer war die ursprüngliche Ingenieurplanung mangelhaft, und ein geringfügig aufwändigeres Rehabilitation-Engineering, beispielsweise auf Grundlage eines Windkanalversuchs, führt schnell zu preiswürdigen Lösungen.

Komplizierter zu behandeln sind Schäden infolge von Windschwingungen, insbesondere, wenn sie zur Werkstoffermüdung führen. Diese treten vornehmlich an schlanken und leichten Konstruktionen auf, oftmals, weil deren Schwingungsempfindlichkeit nicht erkannt wurde [Sockel, 1993]. Ermüdungsschäden werden im Anfangsstadium häufig übersehen, in diesem Fall kann ihre Beseitigung kostenintensiv werden. Der-

artige Schäden erfordern immer die Heranziehung hochkarätiger Experten des Windingenieurwesens.
Ein herausragendes Beispiel hierfür sind die regen-wind-induzierten Schwingungen an der 1993 fertiggestellten stählernen Stabbogen-Straßenbrücke über die Elbe bei Dömitz. Ihre Spannweite beträgt 178 m, die Fahrbahn ist am Bogen aufgehängt. Die stählernen Hänger schwangen bei fast jeder Windstärke ≥ Beaufort 3, sofern gleichzeitig Regen fiel. Bereits nach einem Betriebsjahr waren einige Hänger durch Ermüdungsrisse bis fast zur Hälfte ihres Querschnitts riss-geschädigt. Die Sanierung erfolgte durch Einbau neuer Hänger und von Schwingungsdämpfern [Verwiebe u. Rusheweyh, 1997].

Dieses Vorgehen entspricht dem heutigen Sanierungskonzept bei allen windinduzierten Schwingungen. Nach Ermittlung des Schwingungsverhaltens der betroffenen Konstruktion werden Schwingungsdämpfer (passiv) oder Schwingungstilger (aktiv) konzipiert, welche die beobachteten Schwingungsamplituden auf einen Bruchteil ihrer Amplitudenwerte reduzieren. Schwingungsdämpfer auf der Basis schwappender Flüssigkeiten oder von Reibungskörpern werden heute von verschiedenen Firmen angeboten [Petersen, 2001]. Gegenüber Schwingungstilgern besitzen sie den Vorteil, dass sie, bei intervallmäßiger Wartung, keine Energiezufuhr von außen erfordern.

Empfehlung

Aus diesen Schilderungen darf die Erfahrung ausgesprochen werden, dass mögliche, vermutete oder aufgetretene Sturmschäden an Betriebsbereichen gemäß StörfallV sich stets durch geeignete Nachrüstung vermeiden bzw. beseitigen lassen. Die Wiederherstellung eines normengerechten Sicherheitsniveaus erfordert zumeist ein qualifiziertes Re-Engineering auf der Basis von Schwingungsmessungen durch ausgewiesene Bauingenieure nach der Erfahrungsregel: Je größer der Aufwand des Re-Engineering in Messung und Analyse, desto geringer die Sanierungskosten. Eine Übersicht über Schadensursachen aus Sturmeinwirkungen und einzusetzende Sanierungskonzepte liefert **Tabelle 8.7.2.6.1**. Dabei werden Gerüste und vertikale zylinderartige Konstruktionen als typische Anlagenkomponenten betrachtet.

Eine Eingrenzung der Vorkehrungen oder Maßnahmen auf sicherheitsrelevante Anlagenteile in verfahrenstechnischen Anlagen ist nicht sinnvoll, wenn diese Anlagen zusammenhängende Komplexe sowohl in verfahrenstechnischer als auch betriebstechnischer Hinsicht sind und in einem engen räumlichen Zusammenhang stehen.

**Tabelle 8.7.2.6.1**: Sturmschadensvorsorge durch Nachrüstmöglichkeiten

| |
|---|
| **Nachrüstung bei zu geringem stationären (statischen) Windwiderstand** |
| **Stählerne Gerüste** |
| - Einbau gleichartiger statischer Versteifungen nach Bild 8.7.3.7.1 |
| - Ballastierung/Zugverankerung von Gründungskörpern |
| **Zylinderförmige vertikale Tragwerke** |
| - Verstärkung der Fußeinspannung |
| - Seilabspannungen |
| **Nachrüstmöglichkeiten gegen Windschwingungen** |
| **Stählerne Gerüste** |
| - Erhöhung der Steifigkeit: Versteifungen nach Bild 8.7.3.7. |
| - Einbau von Schwingungsdämpfern [ISO 1037. Nawrotzki et al., 2005] |
| **Zylinderförmige vertikale Tragwerke** |
| - Querschwingungen: Anbringung von Abreißkörpern, wie unterbrochenen Lisenen, SCRUTON-Wendeln, zur Störung der KARMAN-Ablösung |
| - Längsschwingungen: Einbau von Schwingungsdämpfern |

## 8.7.2.7 Beispiel: Sturmsicherheit einer Kraftwerkskomponente

Als Beispiel für den heute hohen Stand der Sturmsicherheit im Bauwesen generell sowie in einigen Industriezweigen sollen die behandelten Aspekte an Hand des Naturzugkühlturms des neuen 960-MW-Blocks des RWE Braunkohlekraftwerks Niederaussem beschrieben werden [Busch et al., 2002]. Naturzugkühltürme dienen bei thermischen Kraftwerken der Rückkondensation des Turbinen-Abdampfes durch umweltverträgliche Abführung der Restwärme sowie der gereinigten Rauchgase. Die Betriebszuverlässigkeit des Kraftwerks hängt vollständig von der Verfügbarkeit des Kühlkreislaufs, d.h. des Kühlturms ab. Daher wird das Sturmrisiko dieser höchsten Bauten eines Kraftwerksblocks stets mit besonderer Sorgfalt minimiert.

Die Oberflächen von Naturzugkühltürmen sind durch "Windrippen" aufgerauht, um durch günstige Oberflächendrücke die maximalen Sturmlasten des Turms zu minimieren. Diese werden selbstverständlich individuell aus sorgfältigen Versuchen in Grenzschicht-Windkanälen bestimmt.

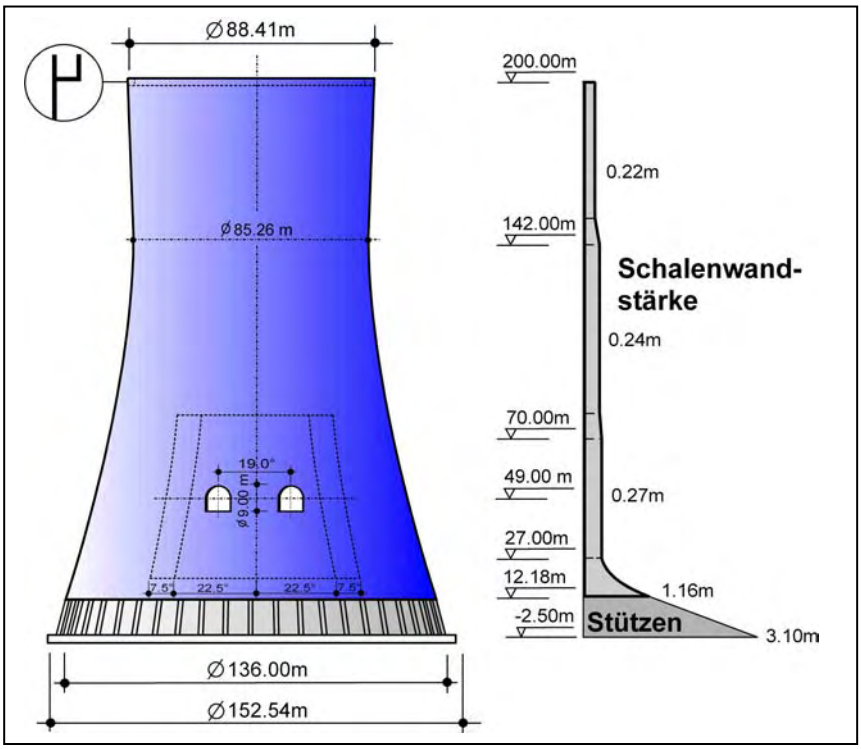



**Abbildung 8.7.2.7.1**: Abmessungen des Naturzugkühlturms Niederaussem

**Abbildung 8.7.2.7.1** zeigt die geometrischen Abmessungen des Kühlturms einschließlich seiner extrem geringen Wanddicken. Die beiden großen Schalenöffnungen dienen der Einleitung der gereinigten Rauchgase.

Das Computermodell der statischen und dynamischen Analysen deutet **Abbildung 8.7.2.7.2** an: Natürlich ist das Modell noch ganz erheblich feiner aufgelöst; es enthält ca. 51 000 Knotenfreiheitsgrade.

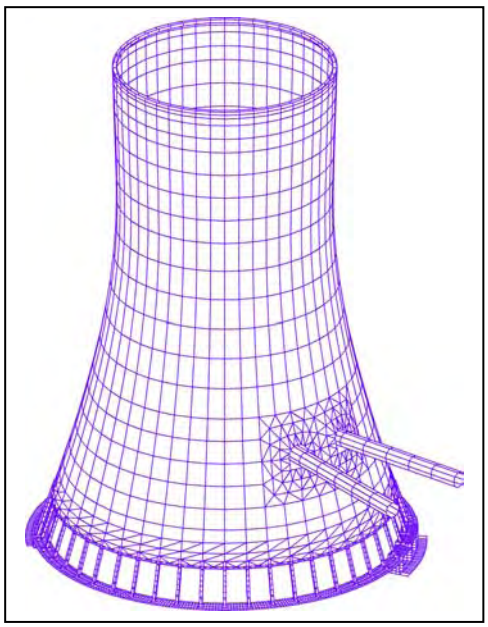


**Abbildung 8.7.2.7.2**:
FE-Modell des Kühlturms

Die Simulationen des (quasi-statischen) Tragwerksversagens bei langsam ansteigender Belastung als Last-Durchbiegungsdiagramm für verschiedene Lastkombinationen aus Eigenlast G, Wind W, Betriebstemperatur $\Delta T_{45K}$ und hygrische Schädigungen $\Delta T_{hygr}$ enthält **Abbildung 8.7.2.7.3.** In den wiedergegebenen Simulationen liegt die geforderte Versagenssicherheit, bezogen auf die Sturmintensität $\lambda$, etwa bei $\lambda_{erf}$ = 1,90. Die tatsächliche Sicherheit ist mit $\lambda_{krit}$ = 2,37 beträchtlich höher [Busch et al., 2003].

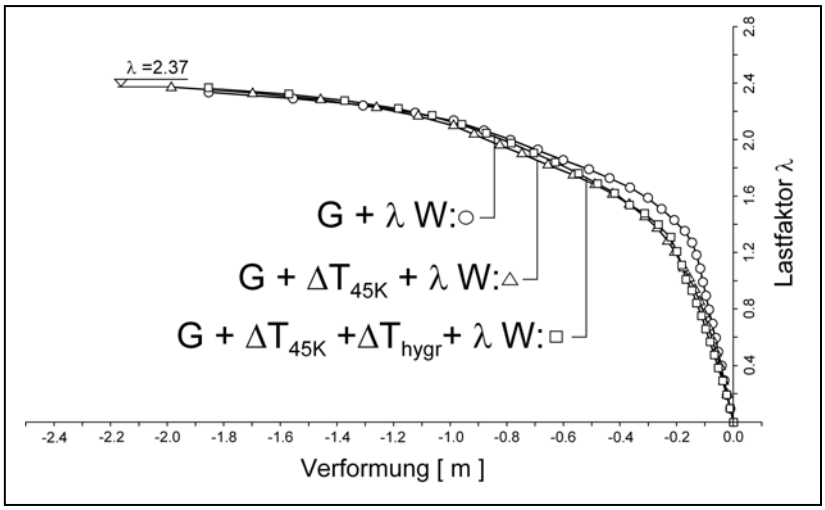



**Abbildung 8.7.2.7.3**: Typisches Last-Verformungsdiagramm

Während ansteigender Sturmeinwirkung bilden sich umfangreiche Rissstrukturen im Kühlturm aus. Die unter Eigengewicht G, Betriebstemperatur $\Delta T_{45K}$ und Wind W unmittelbar vor dem (rechnerischen) Versagen bei $\lambda_{krit}$ sich ausbildenden Risse mit kritischen Rissweiten $\geq$ 0.10 mm sind in **Abbildung 8.7.2.7.4** wiedergegeben.

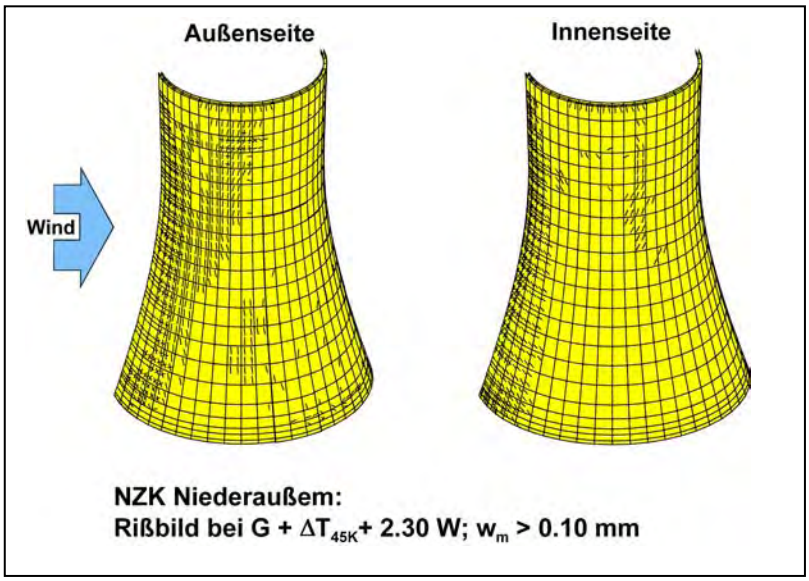


**Abbildung 8.7.2.7.4**: Studien der Riss-Schädigung des Turmes
Die 30-fach überhöhten Verformungen dieses Zustandes zeigt **Abbildung 8.7.2.7.5**.

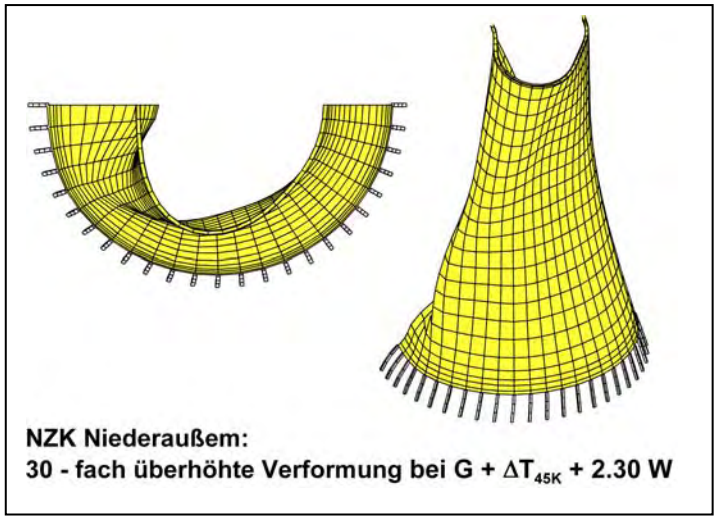



**Abbildung 8.7.2.7.5**: Überhöhte Verformungen vor dem Versagen

Während der als quasi-statisch approximierten Sturmlasten treten natürlich gleichzeitig erhebliche Böenerregungen auf, die vom Bauwerk, infolge der Rissschädigungen, in sehr unterschiedlicher Weise in dynamische Schwingungen umgesetzt werden und die Dauerfestigkeit der Struktur durch einen Low-Cycle-Fatigue-Prozess stark beeinflussen. Einen Einblick in die Lastabhängigkeit der ersten drei Eigenschwingungen einer typischen Belastungsevolution (rechts) liefert **Abbildung 8.7.2.7.6**.

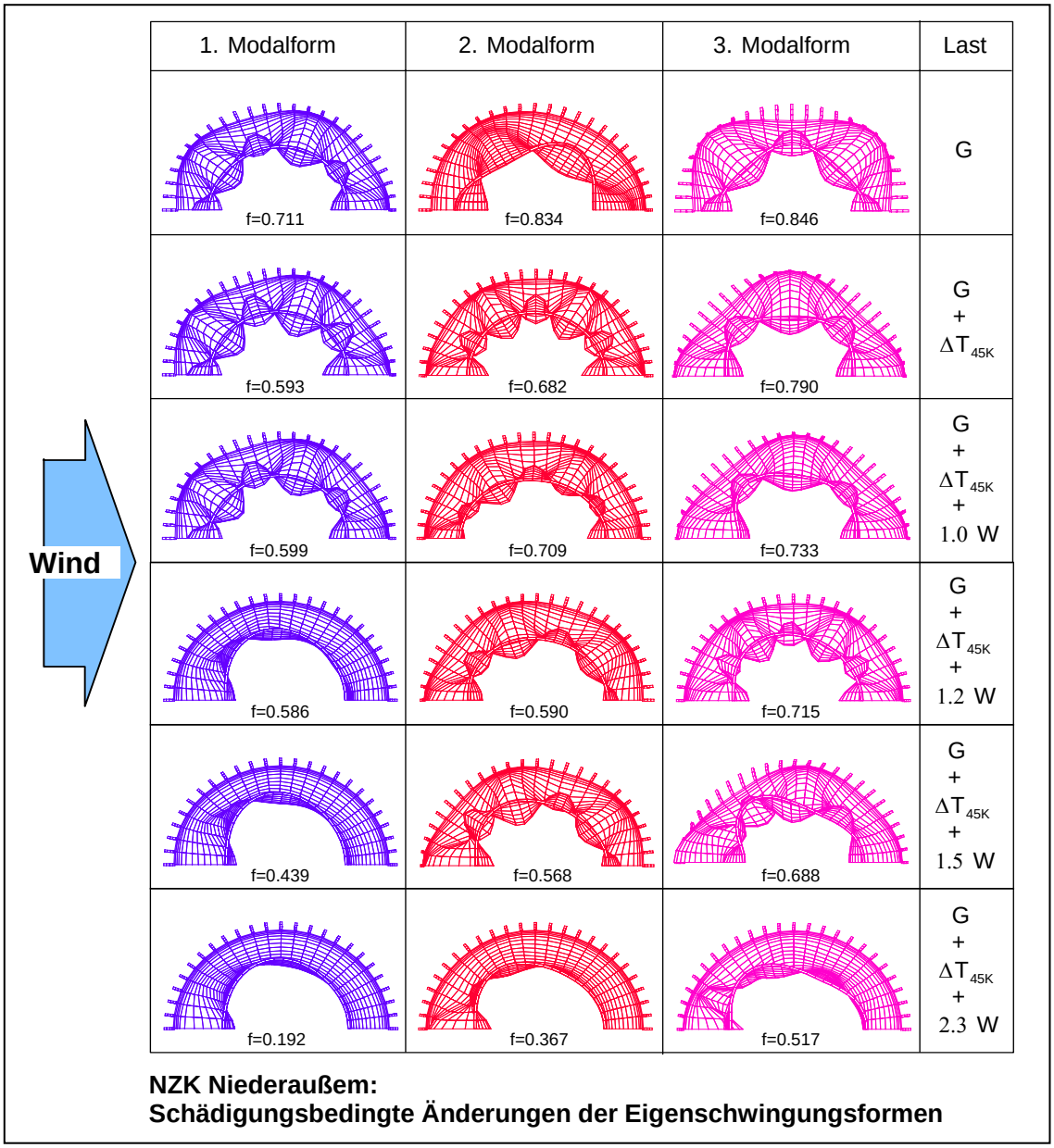



**Abbildung 8.7.2.7.6**: Lastevolution der ersten drei Schwingungsformen

## 8.7.3 Sicherheit von Betriebsbereichen gemäß StörfallV gegen Erdbeben

### 8.7.3.1 Analyseverfahren zur seismischen Sicherheit gemäß DIN 4149

Für Sicherheitsanalysen von seismisch erregten Strukturen finden heute weltweit die folgenden Standardverfahren Anwendung:

- das Ersatzkraftverfahren,
- das Antwortspektrumverfahren,
- das Verfahren der modalen Analyse,
- Verfahren der direkten Zeitintegration.

Alle Verfahren setzen (in ihren Standardversionen) linear-elastisches Tragverhalten und infinitesimal kleine Deformationen voraus. Plastizierungen und sich entwickelnde Schädigungen der Werkstoffe können somit, vor allem bei Anwendungen in der Ingenieurpraxis, nicht primär berücksichtigt werden.

Das Ersatzkraftverfahren stellt eine rein statische Vorgehensweise dar. Es berücksichtigt die Tragwerksmassen, aber nicht die auftretenden Tragwerksschwingungen. Ausgangspunkt bildet die für ein unendlich starres Tragwerk geltende Aussage:

$$\text{Größte Trägheitskraft } F = \text{Masse } M * \text{maximale Erdbebenbeschleunigung } S_a.$$

Die Trägheitskraft F wird als Ersatzkraft bezeichnet, für sie wird das Tragwerk seismisch bemessen. Durch Unterteilung der Massen, beispielsweise nach Stockwerken, und Aufteilung von F gemäß zugehöriger statischer Biegelinien, lässt sich das Ersatzkraftverfahren noch geringfügig weiter verfeinern [Bachmann, 1995].

Das Ersatzkraftverfahren ist ein äußerst grobes, quasi-statisches Näherungsverfahren eines komplizierten dynamischen Problems aus der „Vor-Computer-Ära“. Da es die Schwingungen des Tragwerks unberücksichtigt lässt, besitzt es höchstens für gedrungene, schwere Tragwerke noch eine Einsatzberechtigung. Für seismische Sicherheitsanalysen von Anlagen erscheint es nicht mehr akzeptabel, und in KTA 2201 [KTA 2201, 1990-1992] ist es untersagt. In ihren seismischen Sicherheitsanalysen verwenden es die Berichterstatter seit 30 Jahren nicht mehr.

Die drei weiteren, oben aufgeführten Nachweisverfahren stellen echte dynamische Analysemethoden dar, da sie alle dynamischen Kenngrößen eines Tragwerks, nämlich Masse, Steifigkeit und Dämpfung, berücksichtigen. Sie wurden bereits detailliert im Abschnitt 8.3.2.1 erläutert. Die von ihnen alles dominierende Vorgehensweise bildet heute das Antwortspektrumverfahren, da seine wichtigste Eingangsinformation, das vorgegebene Antwortspektrum, sowohl ingenieur-seismologisch als auch statistisch und tragwerksmechanisch gleichermaßen eine hervorragende Basis für Sicherheitsbeurteilungen bildet. Kommen Zeitverlaufsverfahren zum Einsatz, so muss mindestens ein seismisches Erregungsspektrum des Standortes vorgegeben sein. Da

Erregungszeitverläufe in Deutschland kaum vorliegen, werden aus dem Erregungsspektrum der DIN 4149 oder eines seismologischen Gutachtens üblicherweise spektrenkompatible Akzellerogramme [Meskouris, K. et al., 1988] hergeleitet, die dann als Fußpunkterregungen des Tragwerkes Verwendung finden.

Wegen der Dominanz des Antwortspektrenverfahrens im heutigen Erdbebeningenieurwesen wurden in DIN 4149 (04/2005) die gesamten berechnungsrelevanten Regelungen auf dieses Verfahren hin ausgerichtet. DIN 4149 unterscheidet vereinfachte Antwortspektrenverfahren mit Berücksichtigung nur einer, nämlich der wichtigsten Modalform, sog. uni-modale Verfahren, sowie Antwortspektrenverfahren unter Berücksichtigung mehrerer maßgebender Schwingungsformen, sog. multi-modale Verfahren. Da durch die Spektraltransformation die Zeit als Koordinate verloren geht, erfolgt die Superposition mehrerer maximaler Modalwerte zu Bemessungsgrößen nach verschiedenen quadratischen Wurzelkombinationen (rms-Kombination), siehe DIN 4149 (04/2005), 6.2.3.2. In der gültigen Norm finden sich auch Kombinationsregeln für beide horizontalen Bebenkomponenten sowie zur Berücksichtigung der vertikalen Komponente. Der oben erwähnte Verlust der Zeitinformation wird heute fast immer als Vorteil angesehen, da er die Computerausgaben von unnötigem Zahlenmüll befreit.

Bei allen dynamischen Tragwerksanalysen spielt die Wirklichkeitsnähe der Modellbildung eine viel entscheidendere Rolle als bei statischen Berechnungen. Zur Vermeidung diesbezüglicher Erdbebenschäden ist die Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Interaktion bei seismischen Sicherheitsanalysen heute selbstverständlich [Antes et.al., 1996; Meskouris u. Hinzen, 2003]. Dies ist für übersichtliche Schichtungen des Baugrundes entsprechend den Spektrenkomponenten in DIN 4149 problemlos möglich. Zur wirklichkeitsnahen Modellierung komplizierterer Gründungsverhältnisse benötigt man Akzellerogramme unterhalb des Gründungsniveaus; in diesem Fall muss die Berechnung mit Zeitintegrationsverfahren erfolgen.

Ergebnis

Als Ergebnis darf festgehalten werden, dass für Tragwerke oder Komponenten von Anlagen mit seismischer Gefährdung nach DIN 4149 (04/2005) heute seismische Sicherheitsanalysen in jedem Fall erforderlich sind. Hierfür bildet in den meisten Fällen das Antwortspektrenverfahren die geeignete methodische Basis, für Voranalysen das uni-modale, im Regelfall jedoch das multi-modale Verfahren.

Das Antwortspektrumverfahren ist ein einfaches, jedoch vollwertiges dynamisches Analyseverfahren, welches durch viele verfahrenstechnische Hinweise der DIN 4149 (04/2005) heute eine herausgehobene Stellung einnimmt. Wie am Ende von Abschnitt 8.3.2 erläutert wurde, ist es auch zur Erfassung teil-plastischer Tragwerksreaktionen geeignet. Das Ersatzkraftverfahren gilt heute vielen Experten wegen seiner Nicht-Berücksichtigung der Modalformen als überholt und sollte nicht mehr verwandt werden. In Sonderfällen, bei Berücksichtigung größerer Deformationen, von ausgeprägten Plastizierungen oder Schädigungen sowie bei komplizierten Gründungsverhältnissen, werden die aufwändigeren Verfahren der direkten Zeitintegration zum Einsatz kommen. Sie erfordern die Vorgabe von Akzellerogrammen in Höhe des Gründungsniveaus oder seismische Erregerspektren an gleicher Stelle.

### 8.7.3.2 Eignung der Schutzziele der DIN 4149

Oftmals wird für immissionsschutzrechtlich zu genehmigende Produktionsanlagen in seismisch aktiven Zonen die DIN 4149 relativ kritiklos angewendet, ohne zu hinterfragen, ob die Schutzziele dieser Norm mit denjenigen der Anlage überhaupt identisch sind [Innenministerium BW, 1988). Als Schutzziele der DIN 4149 wird unter 1 Anwendungsbereich folgendes ausgeführt:

*(1) Diese Norm gilt für Entwurf, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen des üblichen Hochbaus aus Stahlbeton, Stahl, Holz oder Mauerwerk in deutschen Erdbebengebieten. Ziel der Norm ist, im Falle eines Erdbebens menschliches Leben zu schützen, Schäden zu begrenzen und sicher zu stellen, dass für die öffentliche Sicherheit und Infrastruktur wichtige bauliche Anlagen funktionstüchtig bleiben.*

*(2) Diese Norm gilt nicht für bauliche Anlagen und Teile baulicher Anlagen (z.B. kerntechnische Anlagen, chemische Anlagen usw.), von denen im Falle eines Erdbebens zusätzliche Gefahren ausgehen können.*

Primat der DIN 4149 ist somit der Schutz menschlichen Lebens, der öffentlichen Sicherheit und der Infrastruktur vor den Folgen eines Erdbebens. Sicherheit von Produktionsprozessen, Dichtigkeit von Flüssigkeitstanks oder Gasleitungen gehören sicher nicht zu den primären Schutzzielen dieser Norm.

Könnte man zur Abschätzung des Risikoniveaus dieser Norm grundlegende Ziel-Überlebenswahrscheinlichkeiten $P_f$ oder Sicherheitsindices $\beta$ heranziehen, wie sie für die Beanspruchungen des üblichen Hochbaus im Abschnitt 8.6.4 dieses Forschungsberichtes nach DIN 1055-100 (03/2001) genannt wurden ($\beta = 3{,}0 \Rightarrow P_f \approx 0.90 * 10^{-3}$)?

Derartige Informationen existieren derzeit weder in der DIN 1055-100 noch in grundlegenderen europäischen Vornormen [CEN, 1996]. Vorschriften zum erdbebensicheren Bauen basieren eben weltweit auf weitgehender Empirie mit dem Ziel des Schutzes menschlichen Lebens, auf geo-seismologischen Erfahrungen der vergangenen 60 Jahre, deshalb ist das in ihnen indirekt implizierte seismische Risiko überhaupt nicht bzw. nicht ohne beträchtlichen Forschungsaufwand bestimmbar [Schuéller, 1991; Vanmarcke, 1976].

Eine (sehr oberflächliche) Abschätzung des seismischen Risikos findet sich auf **Abbildung 8.7.3.2.1**, basierend auf den Teilsicherheitsfaktoren der Tabelle 8.6.5.1 und den im Abschnitt 8.6.6 wiedergegebenen Bemessungsformaten. Dabei wird eine Bemessungssituation angenommen, in welcher der Verkehr P die halbe Schnittgröße S der Eigenlast G liefert. $R_{\beta s}$ kürzt den Widerstand der Stahlseite bei Ausschöpfung der Streckgrenze ab, $R_{\beta c}$ denjenigen der Betonseite unter Ausschöpfung der Quetschgrenze des Betons. Aus dem unteren Bildteil erkennt man, dass die Erdbeben-Kombination der DIN 1055-100 (03/2001) in dieser Bemessungssituation nur unter völliger Absenkung der Partialsicherheiten der Lastseite gerade noch zu einer 94 %igen Aufnahme der Erdbebenschnittgrößen fähig ist.

**Grundkombination:**

Eigenlast G (= S) + Verkehrslast P (= 0.50 S)

Stahl: $R_s = R_{ßs} / 1.15 \geq E = 1.35\,G + 1.50\,P \rightarrow R_s = R_{ßs} = 2.42\,S$

Beton: $R_c = R_{ßc} / 1.50 \geq E = 1.35\,G + 1.50\,P \rightarrow R_c = R_{ßc} = 3.19\,S$

**Erdbeben - Kombination:**

Eigenlast G (= S) + Verkehrslast P (= 0.50 S) + Erdbeben E (= 0.94 S)

Stahl: $R_s = R_{ßs} \geq E = 1.00\,G + 1.00\,P + 1.00\,E \rightarrow R_s = R_{ßs} = 2.44\,S$

Beton: $R_c = R_{ßc} / 1.30 \geq E = 1.00\,G + 1.00\,P + 1.00\,E \rightarrow R_c = R_{ßc} = 3.17\,S$

**Abbildung 8.7.3.2.1**: Abschätzung des seismischen Ziel-Risikos nach DIN 1055-100

Setzt man für die obige Grundkombination der Abbildung 8.7.3.2.1 den Sicherheitsindex $\beta$ = 3,8 voraus ($P_f = 0{,}7 * 10^{-4}$), so wird deutlich dass man das gleiche Sicherheitsniveau bestenfalls mit 94% der Erdbebeneinwirkung (ohne jede verbleibende Sicherheitsmarge) erreichen kann. Hiermit wird noch einmal bestätigt, dass das seismische Sicherheitskonzept der DIN 1055-100 (03/2001) und der DIN 4149 (04/2005) Gebäudeschäden bis zum beginnenden Kollaps akzeptiert und nur den Einsturz absichert.

Resümee und inherentes Sicherheitsdefizit

DIN 4149 (04/2005) gemeinsam mit DIN 1055-100 (03/2001) zielen vornehmlich auf den Personenschutz von Wohnbauten und öffentlichen Hochbauten ab. Somit dürfen im Fall eines Norm-Erdbebens diese Bauten seismische Schädigungen – begrenzte inelastische Risse der tragenden Struktur [Krätzig, 2004], Schäden an Leitungen und am Ausbau, Verwüstungen des Interieurs – erleiden. Einsturzkritische Situationen oder gar menschlichen Verluste sollen jedoch unter allen Umständen verhindert werden.

Dieses Schutzziel ist bei immissionsschutzrechtlich zu genehmigenden Anlagen mit Sicherheit nicht vertretbar, wie auch die eingangs zitierte Schutzzieldefinition der DIN 4149 ausdrückt. Plastisches Fließen von Rohrleitungen und Tanks beispielsweise oder Bruch von Armaturen, nach DIN 4149 in Norm-Erdbeben durchaus akzeptabel, ist in den meisten Anlagen ein unbedingt zu vermeidendes Risiko. Zur Eingrenzung des dortigen seismischen Risikos bedarf es in einem vorliegenden Fall eines sehr genauen Detailengineerings im Hinblick auf zulässige seismische Vulnerabilitäten, im Allgemeinen dürfte hier vermutlich ein erheblicher Definitions- und Forschungsbedarf vorausgehen müssen, wie im Abschnitt 8.7.3.5 deutlich werden wird.

### 8.7.3.3 Die Regelungen des KTA – Kerntechnischen Ausschusses

Wie aus den Ausführungen der Abschnitte 8.3, 8.6 und 8.7 deutlich geworden ist, wird das seismische Risiko einer Anlage durch drei Komplexe bestimmt:

- die geo-seismischen Vorgaben zum Bemessungserdbeben: Magnitude, Intensität, Maximalbeschleunigung, Starkbebendauer, usw.;

- die genaue Definition der Schutzziele;
- das Berechnungsverfahren mit zulässigen Vulnerabilitäten (Schädigungen).

In diesem Abschnitt soll untersucht werden, ob und in welcher Weise sich die KTA-Regelungen [KTA 2201, 1990-1992], welche die generell strengsten Risikoeingrenzungen in Deutschland enthalten, sich von denjenigen der DIN 4149 unterscheiden. Ziel sollte es sein, mögliche Verbesserungen für Sicherheitsregelungen bei immissionsschutzrechtlich zu genehmigenden Anlagen herauszustellen.

Für die strukturmechanischen Berechnungsverfahren, die im Abschnitt 8.3.3.1 ausführlich erläutert und im Abschnitt 8.7.3.1 noch einmal im Hinblick auf die DIN 4149 (04/2005) charakterisiert wurden, gibt es in der KTA 2201 eine fast völlige Übereinstimmung. Das Ersatzkraftverfahren ist nur für nicht-sicherheitsrelevante Anlagenteile zulässig. Dagegen müssen alle sicherheitsrelevanten Anlageteile auf der Basis vollständiger dynamischer Methoden nachgewiesen werden. Dabei wird das Antwortspektrumverfahren klar favoritisiert, aber auch Verfahren der Zeitverlaufsanalyse sind zulässig [KTA 2201.3, 2.2]. Die an der zitierten Stelle weiter aufgeführten Einzelregelungen entsprechen internationalen Gepflogenheiten und denen der gültigen DIN 4149 (04/2005). Allerdings sind sie, den gesteigerten Sicherheitsanforderungen gemäß, erheblich detaillierter und weitergehend.

Bei der Festlegung des Bemessungserdbebens und der damit verbundenen seismischen Risikoenschätzung ist die DIN 4149 (04/2005) in dem Abschnitt 5 präziser als die KTA 2201.

Im Gegensatz hierzu ist die Definition der Schutzziele in KTA 2201 erwartungsgemäß völlig eindeutig und in sehr betriebsnaher Weise vorgenommen. In KTA 2201.13 Klassifizierung der Anlagenteile unterscheidet die Regel sicherheitsrelevante (Klasse I) Anlagenteile von nicht-sicherheitsrelevanten (Klasse II). Zur Klasse I zählen alle *Anlagenteile,*

- *die erforderlich sind, um den Reaktor sicher abzuschalten, im abgeschalteten Zustand zu halten und die Nachwärme abzuführen,*
- *deren Beschädigung oder Versagen einen Schaden mit unzulässiger Freisetzung radioaktiver Stoffe verursachen oder veranlassen können,*
- *die eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verhüten sollen,*
- *sowie alle diese Anlagenteile stützenden oder verbindenden Tragwerke.*

In KTA 2201.1, 5 Auslegung werden sodann die Schutzziele sehr klar definiert.

*(1) Alle Anlagenteile der Klasse I sind gemäß dieser Regel so auszulegen, dass beim Bemessungserdbeben ihre sicherheitstechnische Funktion erhalten bleibt. Eine Koordinierung der Erdbebenauslegung aller Anlagenteile ist sicherzustellen.*

*(2) Alle Anlagenteile der Klasse I sind so auszulegen, dass bei den seismisch bedingten Lasten des Bemessungserdbebens zusammen mit anderen Lasten die Spannungen und/oder Deformationen innerhalb zulässiger Grenzen liegen.*

Die hierfür erforderlichen Lasten sind im Abschnitt 4 Lasten der KTA 2201.1 aufgezählt, und die zu verwendenden Lastsuperpositionen finden sich in KTA 2201.3, 3, Überlagerung von Lasten. Abschnitt 4 Bemessung dieses Regelteils enthält alle zulässigen Rechenwerte der Werkstoff-Festigkeiten und Gesamt-Sicherheitsbeiwerte. Es ist bemerkenswert, dass die Rechenwerte der Betonfestigkeiten 30% bis 50 % oberhalb derjenigen der (alten) DIN 1045 liegen.

Die KTA Regeln (KTA 2201, 1990-1992) zielen generell, nach eigenem Verständnis, auf das höchste bei Bauwerken und technischen Anlagen anzustrebende Sicherheitsniveau ab. Sie setzen auf die üblichen Sicherheitsniveaus für Baukonstruktionen auf, gelten also als zusätzliche Vereinbarungen. Dennoch findet sich in dem Gesamtwerk der KTA-Regeln nirgends ein Hinweis auf eine erstrebte Ziel-Überlebenswahrscheinlichkeit $P_f$ der Anlage bzw. Komponente oder auf ein quantifiziertes Sicherheitsniveau $\beta$, was im Sinne moderner Sicherheitskonzepte als erhebliches Defizit betrachtet werden muss. Da in den bauweisenorientierten Bemessungsregelungen der KTA 2201 die Gesamtsicherheitsfaktoren $\gamma$ im Erdbebenfall gleich oder nahe 1 sind, wird durch sie für die zusätzlichen seismischen Einwirkungen ein Grenzzustand des Versagens, analog dem Bemessungsformat der DIN 4149 gefordert. Allerdings bleibt die Stärke des zu berücksichtigenden Bebens völlig offen. Während DIN 4149, 5.1 (3) [DIN 4149, 2005] in ihrer Erdbebengefährdung eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren voraussetzt, fordert KTA 2202.1, 2 (1) [Krätzig, 1983] das nach wissenschaftlichen Erkenntnissen höchstmögliche Beben unter Einschluss historischer Überlieferungen, also vermutlich eine höhere Intensität ohne Nennung eines spezifizierten seismischen Risikos.

Folgerungen für immissionsschutzrechtlich zu genehmigende Anlagen

Hinsichtlich der heute eingesetzten Vorgehensweisen für eine seismische Sicherheitsanalyse fordert die KTA 2201 den Stand der Technik, schreibt allerdings weitergehende Berechnungsdetails vor. Für jeden Standort einer kerntechnischen Anlage wird eine Einzelfallbetrachtung der Erdbebengefährdung angestellt, allerdings ohne Angabe des seismischen Risikos. Diese Regelungen hinsichtlich der Festlegung des Bemessungserdbebens erscheinen, insbesondere wegen des Zwangs zur seismologisch-gutachterlichen Ermittlung und im Hinblick auf die moderne Gefährdungsbeschreibung der DIN 4149, als für immissionsschutzrechtlich genehmigungspflichtige Anlagen nicht praktikabel. Diejenigen der neuen DIN 4149 (04/2005) sind moderner und eine bessere wissenschaftliche Grundlage.

Die Hinweise auf Berechnungsverfahren decken sich völlig mit heutigen Auffassungen: Das Antwortspektrumverfahren steht im Vordergrund, Zeitintegrationsverfahren sind zugelassen. Die Schutzziele der KTA 2201 sind mustergültig eindeutig und detailliert betriebs-orientiert formuliert. Sie gehen weit über den reinen Personenschutz hinaus und betreffen erwartungsgemäß den reibungslosen Weiterbetrieb bzw. das planmäßige Herunterfahren der Gesamtanlage. Sie könnten sicherlich Vorbild sein für ähnliche Regelungen für Anlagen, die nach dem BImScHG genehmigt werden, bzw. für Betriebsbereiche gemäß der StörfallV.

In diesem Fall müssten folgende Maßnahmen nachträglich angeordnet und im Sicherheitsbericht dokumentiert werden:

(1) Anlagen in Betriebsbereichen, die nur durch die Funktion von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen bei und nach einem Erdbeben in einem sicheren Zustand verbleiben, sind ebenso wie diese v.g. (KTA) Anlagenteile zu identifiziert.

(2) Die seismische Gefährdung des Anlagenstandortes ist DIN 4149 (04/2005) zu entnehmen.

(3) Die seismische Vulnerabilität der Anlagen und Anlagenteile muss als so niedrig nachgewiesen werden, dass alle sicherheitsrelevanten Anlagenteile bei dem angesetzten Erdbeben funktionsfähig bleiben, d.h. Spannungen und/oder Deformationen müssen unterhalb zulässiger Grenzen liegen.

(4) Gelingt dieses nicht, ist zu verstärken. Wird in diesem Fall das seismische Risiko der DIN 4149 als zu hoch angesehen, kann von der Genehmigungsbehörde eine niedrigere Bebenintensität zugelassen werden. Im umgekehrten Fall können nach den Grundsätzen des Performance-based Seismic Design (siehe Abschnitt 8.7.3.6) begrenzte Schädigungen toleriert werden.

(5) Ggf. kann auch zwischen Sicherheitsbeben (mit begrenzten reparablen Schäden, aber keinen Freisetzungen) und Betriebsbeben (ohne Schädigungen) unterschieden werden.

### 8.7.3.4 Seismische Gefährdung, Duktilität und Vulnerabilität

In der neuen DIN 4149 wird die seismische Gefährdung aus der Erdbebenzone, der Untergrundklasse, der Baugrundklasse, dem Bedeutungsbeiwert und – über das Antwortspektrum – aus den maßgebenden Tragwerks-Eigenfrequenzen bestimmt. In Detaillierung der in Abbildung 8.3.3.3.2 wiedergegebenen Karte der deutschen Erdbebenzonen zeigt **Abbildung 8.7.3.4.1** die Zuordnung der Zonen zu Verwaltungsgebieten, hier für die erweiterte Kölner Bucht. Die Karte wurde [Abrahamczyk et al., 2005] entnommen, dort finden sich auch entsprechende Zuordnungen der anderen Erdbebengebiete Deutschlands.

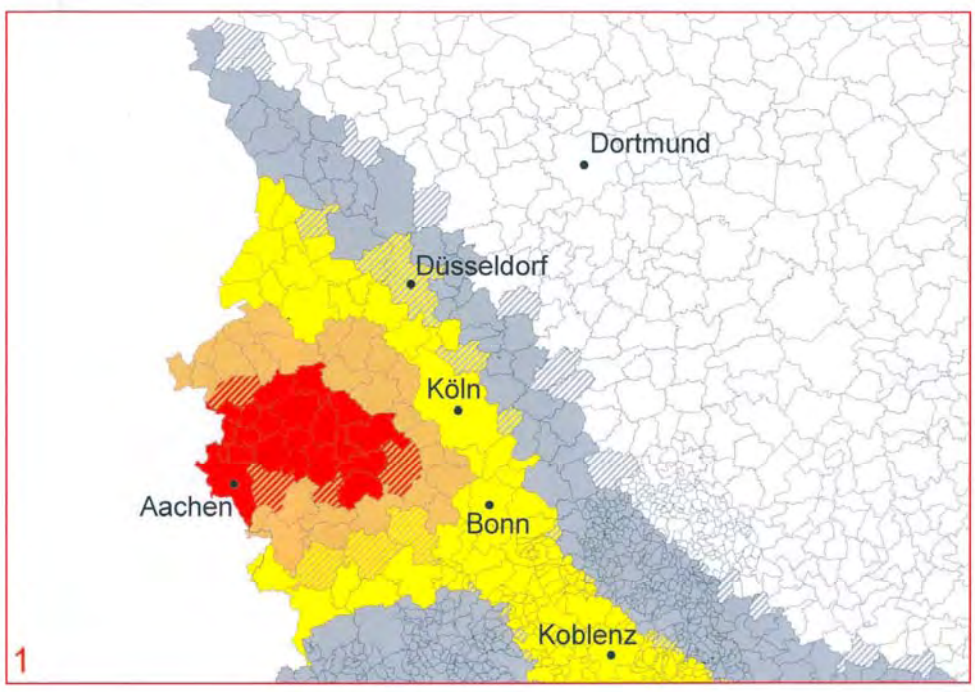



**Abbildung 8.7.3.4.1**: Seismische Gefährdung des Großraums Köln

Mittels der Lastfallkombinationen der DIN 1055-100 (03/2001) und der (i.a. linear-elastischen) dynamische Tragwerksberechnung entstehen Bemessungsschnittgrößen für den Sicherheitsnachweis. Für diese gelten neben den üblichen Normvorgaben dann bauweisenorientierte Zusatzregelungen der Abschnitte 8, 9, 10 und 11 der DIN 4149 (04/2005) mit Vorschriften für Verhaltensbeiwerte q zur Erzielung hinreichender inelastischer Duktilität (Verformungsfähigkeit) sowie ergänzende Sicherheits- und Konstruktionsregeln.

Es sei noch einmal betont, dass Duktilität im Sinne des Erdbebeningenieurwesens, in DIN 4149 (04/2005) gemessen durch Verhaltensbeiwerte q, stets elastische und inelastische, d.h. plastische Verformungsfähigkeit bezeichnet. Wegen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit als seismisches Bemessungsziel können in q auch immer Werkstoffschädigungen integriert sein, sofern diese nicht zum Tragwerkskollaps führen. Alles dies führt beim a-seismischen Tragwerksentwurf zu einer bestimmten seismischen Vulnerabilität (Schädigungs-Verletzlichkeit), für welche globale Maße für die beim Normbeben entstehenden Tragwerksschäden berechnet werden können [Krätzig, 2004; Krätzig u. Meskouris 1998]. Hierauf wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen werden.

Nach Einführung eines neuen Normenkonzeptes wie demjenigen der DIN 4149 (04/2005) ist das Ergebnis der Neuermittlung seismischer Risiken bzw. seismischen Vulnerabilitäten der Bausubstanz, verglichen mit dem bisherigen Stand der Technik, natürlich teilweise offen. Erfahrungen zu Neubewertungen liegen derzeit noch kaum vor [Schwarz u. Grünthal, 2005]. Da Ingenieurseismologen die seismische Gefährdung Deutschlands bisher als zu niedrig codiert ansahen, darf vermutet werden, dass das neue Normenkonzept zu geringfügig höheren seismischen Beanspruchungen führen dürfte.

Aus eigenen Vergleichsuntersuchungen ist jedoch die Tendenz erkennbar, dass derartige Änderungen nicht so gravierend zu sein scheinen wie vielfach befürchtet. Zwar erhöht sich das Bemessungsbeben oftmals leicht, und damit müssen neue Stahlbetonkonstruktionen geringfügig mehr Bewehrungsstahl erhalten, ältere müssen verstärkt werden. Dafür aber kann bei Stahlbauten eine höhere Duktilität ausgenutzt werden [Massarsch, 2000]. Dies dürfte gegenüber dem alten Konzept zu Vergünstigungen führen, vor allem, wenn man nichtlineare Berechnungsverfahren einsetzen wird [Krätzig u. Meskouris, 1998]. Bei Sicherheitsnachweisen von Mauerwerksbauten gelangt man dagegen vermutlich etwas früher in den Grenzbereich der Tragfähigkeit [Kuhlmann u. Mistler, 2005].

Erkenntnis

Mit gewisser Wahrscheinlichkeit führt nach Einschätzung der Berichterstatter die neue DIN 4149 (04/2005) zu geringfügig höheren seismischen Beanspruchungen als das alte Normenkonzept. Deshalb könnten bestehende Bauten in deutschen Erdbebengebieten aus heutiger Sicht geringfügig unterdimensioniert sein. Diese Defizite sind für seismisch gefährdete Betriebsanlagen aber mit hoher Wahrscheinlichkeit von ganz untergeordneter Bedeutung, verglichen mit anderen festgestellten Schwachpunkten, beispielsweise dem der mit dem Begriff „Duktilität“ verknüpften Zulässigkeit inelastischer Deformationen.

Duktilitäten, d.h. das Auftreten elasto-plastischer seismischer Deformationen, sind in DIN 4149 (04/2005) immer impliziert. Im Anwendungsfall auf Anlagen und Anlagenkomponenten (auch SRAs) ist daher stets zu prüfen, ob plastische Dehnungen im Bebenfall auftreten und ob sie zulässig sind, und zwar unter Einschluss aller vorhandenen Betriebsbeanspruchungen.

### 8.7.3.5 Seismische Vulnerabilität von Einzeltragwerken und verfahrenstechnischen Anlagen

Im modernen konstruktiven Ingenieurbau dienen Schädigungsindikatoren $D_i$ zur Zustandsbeurteilung von Tragwerkskomponenten, Einzeltragwerken (Solisten) und baulichen Anlagen. Diese Schädigungsindikatoren beschreiben Steifigkeitsreduktionen der tragenden Struktur entlang einzelner Lastprozesse oder über die Tragwerkslebensdauer. Sie sind von 0,0 bis 1,0 normiert, wobei $D_i = 0{,}0$ den ungeschädigten Neuzustand beschreibt und $D_i = 1{,}0$ das Tragwerksversagen. Schädigungsindikatoren können somit ein Tragwerk von seiner Entstehung bis zu seinem Lebensende numerisch bewertend [Krätzig u. Petryna, 2004] begleiten. Ursache der Steifigkeitsaufweichung können planmäßig oder unplanmäßig einwirkende Lasten sein, Materialdeteriorationen wie Korrosion, chemische Prozesse im Beton, Brandschädigungen oder eben auch seismische Fußpunkterregungen. In der Veröffentlichung [Krätzig, Könke et al., 1998] ist beschrieben, wie Schädigungsindikatoren zum Dauerhaftigkeitsentwurf von Naturzugkühltürmen eingesetzt werden.

Trägt man den maximalen Schädigungsindikator $D_i$ eines einzelnen Tragwerks über einem seismischen Erregungsmaß auf, beispielsweise der Intensität I oder der Maximalbeschleunigung eines Entwurfsbebens $a_{g\ max}$, so gewinnt man – aus

umfangreichen nichtlinearen Berechnungen [Krätzig u. Petryna, 2004] eine Aussage über die Schädigungen eines vorliegenden Tragwerks in Abhängigkeit der Bebenstärke [Harte u. Krätzig. 2005]. Eine solche Darstellung bezeichnet man als seismische Vulnerabilitätskurve; für ein hypothetisches Einzeltragwerk, einen Solisten, am Standort Stolberg ist sie in **Abbildung 8.7.3.5.1**. skizziert.

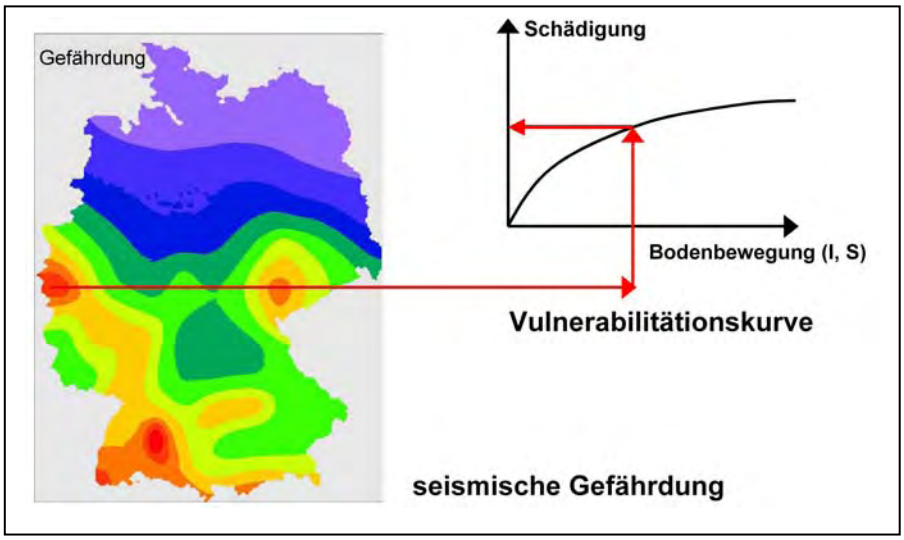



**Abbildung 8.7.3.5.1**: Definition einer Vulnerabilitätskurve

Seismische Vulnerabilitätskurven geben somit einen Überblick über die bei einem Beben vorgegebener Stärke zu erwartenden Tragwerksschädigungen. Dies ist für alle Vorsorgemaßnahmen eine wichtige Information. Wie könnte man nun dieses für Einzeltragwerke heute bewährte Hilfsmittel auf Betriebsanlagen mit Produktionskomponenten übertragen? Hierzu gibt es verschiedene Vorschläge in der Fachliteratur.

Aus dem Versuch, etwa die Hausinstallation und das Inventar wichtiger Bauwerke (Krankenhäuser, Fabrikationsstätten) in derartige Vulnerabilitätsstudien zu integrieren, weiß man seit längerem, dass Einbauten die Vulnerabilität i.a. vergrößern. Dies zeigt stellvertretend die **Abbildung 8.7.3.5.2**, welche Fragilitätskurven eines italienischen Krankenhauses wiedergibt [Nuti, 2005]. Die Abbildung verdeutlicht, dass eine Berücksichtigung der nichttragenden Ausstattung die bei einem Beben aktivierbaren Widerstände stets in Bereiche niedriger Mercalli-Intensitäten verlagert. Damit steigt offenbar durch jede Nutzung das seismische Risiko, sowohl der betroffenen Menschen als auch der Rohbau- und Gesamtinvestition. Moderne europäische Verwaltungs- und Fabrikationsgebäude zeigen ein sehr ähnliches Verhalten [Flesch u.a., 2004].

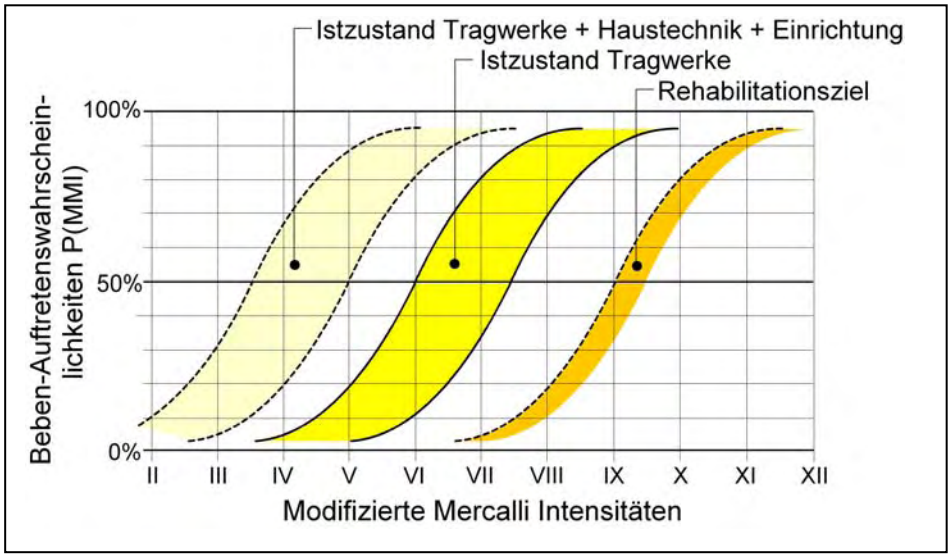



**Abbildung 8.7.3.5.2**: Fragilitätskurven eines Krankenhauses in Kalabrien

Diese Aspekte sind im Hinblick auf die Vulnerabilitätsermittlung komplexer Produktionsanlagen bisher kaum erforscht, geschweige zu praktischer Anwendungsreife entwickelt. Ihre große Bedeutung wurde besonders deutlich beim Bingöl-Erdbeben am 01.05.2003 östlich von Istanbul mit einer EMSC-Magnitude von 6.6. Bei diesem Beben wurden in größerem Umfang Industrieanlagen schwer beschädigt, siehe **Abbildung 8.7.3.5.3**. Wie könnte man zur Vermeidung hierbei vorgehen?

**Abbildung 8.7.3.5.3**: Schäden in Industrieanlagen beim Bingöl-Erdbeben 2003

Die folgenden Abbildungen entstammen Vorschlägen von [Meskouris u. Butenweg, 2005], um zunächst einmal die Vulnerabilität einer Anlage zu ermitteln. Sie zerlegen hierzu eine vorliegende Produktionsanlage (**Abbildung 8.7.3.5.4**) in einzelne Gruppen von Anlagenkomponenten, für welche die Einzel-Vulnerabilitäten bestimmt werden können (**Abbildung 8.7.3.5.5**).

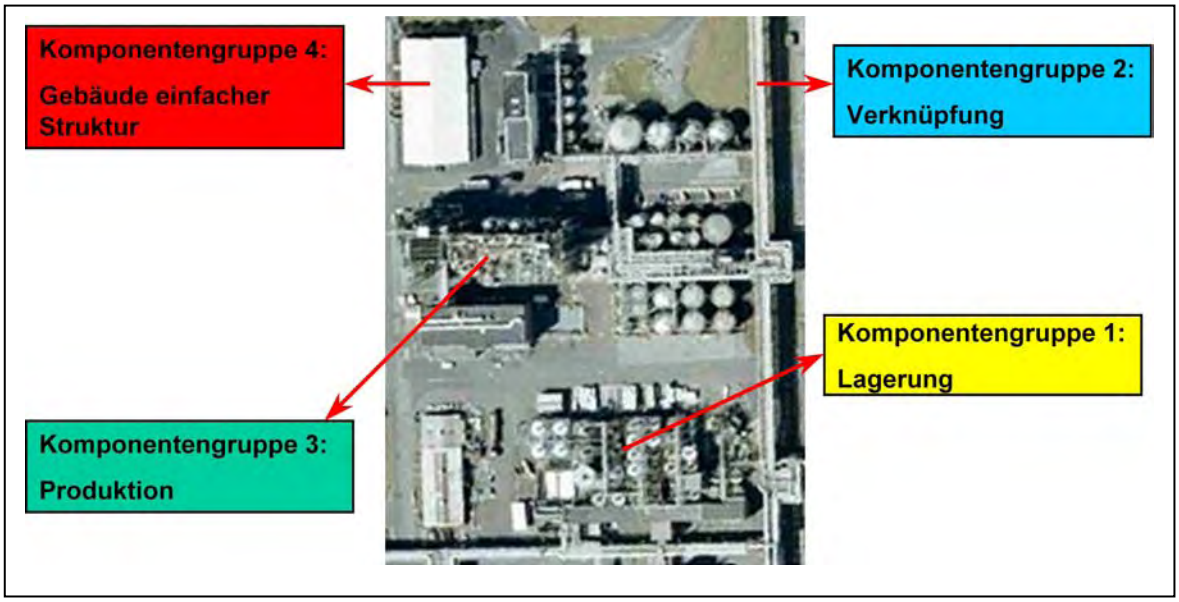



**Abbildung 8.7.3.5.4**: Luftbild einer Produktionsanlage

Diese werden sodann in geeigneter Weise zu einer Gesamtvulnerabilität vereinigt. Dabei wird versucht, durch Flächenanteilsfaktoren $p_i$ und durch Bedeutungsfaktoren $b_i$ den Beiträgen der einzelnen Komponentengruppen gerecht zu werden.

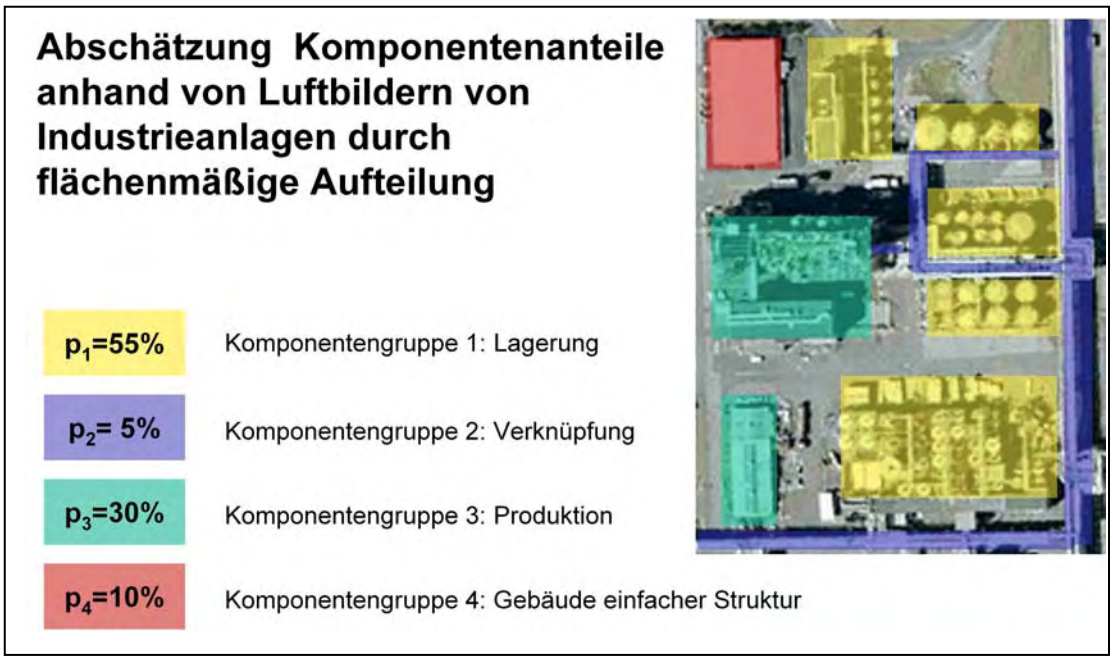



**Abbildung 8.7.3.5.5**: Zerlegung der Anlage in Vulnerabilitätsgruppen

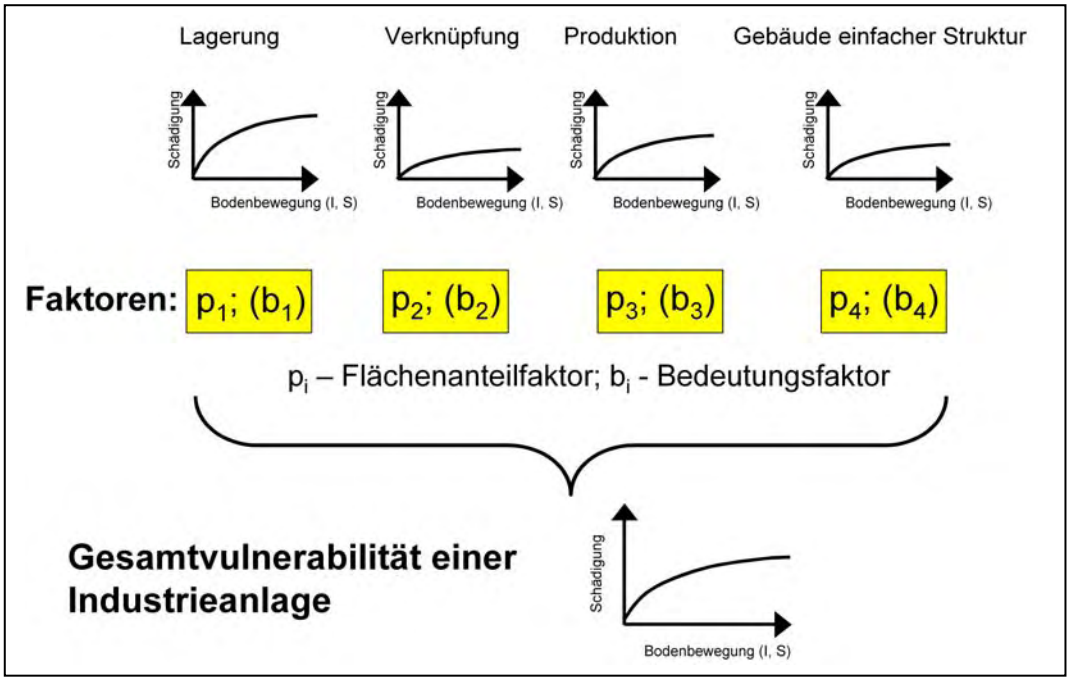



**Abbildung 8.7.3.5.6**: Ermittlung der Gesamtvulnerabilität der Produktionsanlage

Für die Bedeutungsfaktoren werden dabei Werte gemäß **Tabelle 8.7.3.5.1** vorgeschlagen. Nach dieser Vorarbeit kann die Gesamtvulnerabilität auf einem konsistenten Weg durch technische Maßnahmen an den Einzelkomponenten angehoben werden.

**Tabelle 8.7.3.5.1**: Bedeutungsfaktoren zur Bildung der Gesamtvulnerabilität

| Funktion der Anlagenkomponente | Klasse 1 | Klasse 2 | Klasse 3 |
|---|---|---|---|
| Trinkwasserversorgung, Flüssigkeiten nicht brennbar, nicht toxisch: | 1,2 | 1,0 | 0,8 |
| Löschwasser, nicht-flüchtige toxische Stoffe, schwer entzündbare petrochemische Stoffe: | 1,4 | 1,2 | 1,0 |
| Flüchtige toxische Stoffe, explosive und leicht entzündbare Flüssigkeiten: | 1,6 | 1,4 | 1,2 |

Zusammenfassung

Die seismische Sicherheit von Anlagen bildet einen großen Schwachpunkt jeder seismischen Risikominimierung. DIN 4149 (04/2005) betrachtet vornehmlich Einzelobjekte (des Hochbaus). Die kritischen Interaktionen zwischen seismisch vulnerablen Komponenten sind nirgends behandelt. Der Stand der Technik bietet derzeit keine wissenschaftlich begründeten Verfahren zur Bestimmung der seismischen Gesamtvulnerabilität hoch-komplexer Anlagenbereiche. Die Vorgehensweise einer Berücksichtigung von Sekundär- und Tertiärschäden mittels Bedeutungsbeiwerten in der Gesamtvulnerabilität, beispielsweise nach Tabelle 8.7.3.5.1, ist vollständig empirisch und daher unbefriedigend.

### 8.7.3.6 Performance-based seismic design

In den schweren Erdbeben der vergangenen 35 Jahre in Kalifornien – San Fernando 1971, Imperial Valley 1979, Loma Prieta 1989, Northridge 1994 – stiegen die Schadenssummen, bei ähnlicher Bebenintensität, von Ereignis zu Ereignis steil an. Hauptgründe waren die angewachsenen Bebauungsdichten, kostspieligere Immobilienausstattungen, Industrieanlagen mit hohen Investitionskosten durch steigenden Hightech-Charakter. Schäden großer Erdbeben hängen heute eben nicht mehr nur von der freigesetzten Seismizität ab, sondern viel mehr von der Bevölkerungsdichte, ihrem Wohlstand, dem Entwicklungsstand von Wirtschaft und Industrie sowie vom Grad der getroffenen Erdbebenvorsorge.

Durch diese Entwicklung wuchs die Erkenntnis, dass das bisher alleinige Schutzziel a-seismischen Konstruierens, die Minimierung menschlicher Verluste, in modernen Industriegesellschaften wesentlicher Erweiterungen bedarf [Bertero, 1997]. Im Hinblick auf die vielfältigen Schutzfunktionen moderner Anlagen- oder Baukonstruktionen bedarf deren seismisches Verhalten, von schwachen inelastischen Deformationen über Rissbildung mit unzulässig großen Verformungen bis zum Teil- oder Gesamtkollaps, eben verfeinerter und differenzierter Schutzziel-Abstufungen.

Ein solches Detaillierungskonzept schlägt der unter dem Titel Performance-based seismic engineering PBSE veröffentlichte Bericht [SEAOC, 1995] vor. Er definiert PBSE als:

*Consisting of design criteria, appropriate structural systems, layout, proportioning and detailing for a structure and its non-structural components and contents, and the assurance and control of construction quality and long-term maintenance, such that at specific levels of ground motion and with defined levels of reliability, the structure will not be damaged beyond certain limiting states or other useful limits.*

PBSE ist demnach ein integrierter Entwurfsprozess, der bei der Planung einer Anlage mit der Definition seismischer Verhaltensziele beginnt. Er umfasst die seismische Beurteilung des Grundstücks, das konzeptionelle Design, Vor- und Ausführungsentwurf, baustatische Prüfungen, Bauüberwachung und Wartung [FEMA 310, 1998]. PBSE verknüpft im Idealfall seismische Verhaltensziele mit Schutzzielen und somit Stufen zulässiger seismischer Schädigungen.

Das Prinzip der Auswahl seismischer Verhaltensziele ist auf **Abbildung 8.7.3.6.1** dargestellt. Jede vertikale Spalte verkörpert den Entwurfsgrenzzustand eines definierten Schutzzieles, in den horizontalen Zeilen stehen Erdbeben mit unterschiedlichen statistischen Wiederkehrperioden $T_w$ in Jahren [a], also mit nach unten ansteigender Intensität. **Tabelle 8.7.3.6.1** erläutert noch einmal die Intensitätsniveaus der vorgeschlagenen Entwurfsbeben. In dieses Schema sind diagonal Tragwerksklassen oder Klassen von Anlagen /-komponenten mit unterschiedlichen zulässigen (angestrebten) Vulnerabilitäten eingruppiert [Bertero, 1997].

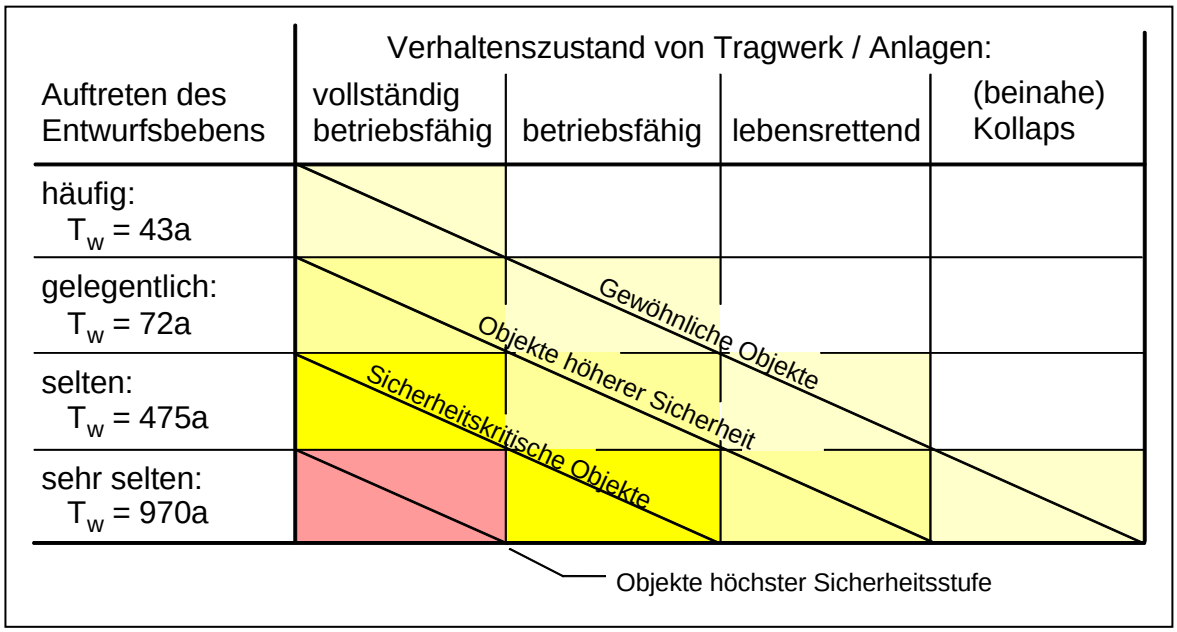



**Abbildung 8.7.3.6.1**: Detailliertere Schutzzieldefinition des PBSE

**Tabelle 8.7.3.6.1**: Intensitätsniveaus der Bemessungsbeben nach PBSE

| Auftreten des Entwurfsbebens | Wiederkehr-Intervall | Überschreitens-wahrscheinlichkeit |
|---|---|---|
| häufig | 43 Jahre | 50 % in 30 Jahren |
| gelegentlich | 72 Jahre | 50 % in 50 Jahren |
| selten | 475 Jahre | 10 % in 50 Jahren |
| sehr selten | 970 Jahre | 10 % in 100 Jahren |

Es dürfte klar sein, dass in das Schema der **Abbildung 8.7.3.6.1** grundsätzlich viel differenzierter als heute bauliche Anlageklassen unterschiedlicher Bedeutung für die Öffentlichkeit, z.B. Produktionsanlagen, Krankenhäuser oder Computerzentren, aber eben auch Industrieanlagen, mit ihren sehr verschiedenen Schutzzielen klassifiziert werden können [Hamburger, 1997]. Leider ist das Konzept des PBSE [SEAOC, 1995] heute noch weit davon entfernt, ein praktikables Entwurfswerkzeug in der Zuordnung von seismischen Schutzzielen, zulässigen Vulnerabilitäten und Bemessungsbeben zu sein. Es stellt daher nach Einschätzung der Berichterstatter eher ein ingenieurwissenschaftliches Denkkonzept für Forschung und Praxis der nächsten Jahrzehnte dar [Calvi, 1998].

Zur Abstellung dieser Einschätzungen hat FEMA [FEMA 1997] die allgemeinen Schutzzieldefinitionen nach Abbildung 8.7.3.6.1 mit den oben erwähnten Schädigungsindikatoren $D_i$ verknüpft. Die diesbezügliche **Abbildung 8.7.3.6.2** liest man am besten so, dass man für jede (in Abbildung 8.7.3.6.1) vertikal aufgeführte Erdbebenstärke die in Abbildung 8.7.3.6.2 definierten Grenzzustände horizontal einhängt. Man erhält so eine an unterschiedliche Risikoklassen anpassungsfähige Staffelung von Schutzzielen für den Tragwerksentwurf.

| | Grenzzustände | Damage level (Schädigungsstufe) | Damage index (Schädigungsindikator) |
|---|---|---|---|
| **ND** | No Damage (keine Schädigung) | 0 | 0.00 |
| **IO** | Immediate Occupancy (sofortige Wiederbenutzung) | I | 0.05 |
| **ID** | Incipient Damage (beginnende Schädigung) | | |
| **LS** | Life Safety (keine Lebensbedrohung) | II | 0.20 |
| **CP** | Collapse Prevention (Einsturzvermeidung) | III | 0.40 |
| **IC** | Incipient Collapse (beginnender Einsturz) | IV | 0.90 |

**Abbildung 8.7.3.6.2**: Grenzzustände und Schädigungsstufen nach FEMA 273

Interessanterweise bietet DIN 4149 (04/2005), 5.3 in den Bedeutungsbeiwerten $\gamma_I$ der Tabelle 3 (Tabelle 8.6.6.4.1) eine sehr geeignete Schnittstelle zu dem neuen, verhaltensbasierten Konzept PBSE, dort allerdings nur für Standard-Hochbauten quantifiziert. Bekanntlich ist der Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$ ein Multiplikator in den Ordinaten des Entwurfsspektrums, der für unbedeutende Bauwerke der Kategorie I auf den Wert 0,80 abgesenkt werden darf, für Bauwerke der höchsten Bedeutungskategorie IV dagegen den Wert 1,40 annimmt. An dieser Stelle ließen sich leicht weitere Faktoren der Bedeutungswerte für differenziertere Schutzziele, beispielsweise von immissionsschutzrechtlich zu genehmigenden Anlagen bzw. Betriebsbereichen gemäß StörfallV, als Elemente eines PBSE anknüpfen.

PBSE für immissionsschutzrechtlich zu genehmigende Anlagen bzw. Betriebsbereiche gemäß StörfallV ?

Zukünftige Erdbeben-Codes werden weltweit verstärkt (tragwerks-) verhaltens-orientierte Elemente aufweisen, weil sich nur mit ihnen differenziertere Schutzziele besser als heute definieren und erfüllen lassen. Ein solches verhaltens-basiertes Konzept könnte bereits heute an die Bedeutungsbeiwerte $\gamma_I$ der DIN 4149 angeknüpft werden, wobei den so definierten unterschiedlichen Bemessungserdbeben noch unterschiedliche zulässige Vulnerabilitäten (Schädigungen) zuzuordnen wären [Kunnath, 2004]. Dies wäre als wirklich nutzbares Konzept für Anlagen zu entwickeln, da es heute nur als leere Konzepthülle existiert, die mit Schutzzielen und einzuhaltenden Vulnerabilitäten zu füllen wäre. Dies könnte die seismische Sicherheit von Industrieanlagen erheblich steigern, auch wenn die erforderlichen Festlegungen erhebliche Forschungsaufwendungen erforderlich machen würden.

### 8.7.3.7 Seismische Instrumentierung und Schadenskontrollen

In der Ausschreibung zu diesem Forschungsvorhaben wurde die Frage nach der seismischen Instrumentierung von Anlagen aufgeworfen. Diese Frage dürfte ihren Ursprung in der Richtlinie KTA 2201.5 (KTA 2201, 1990-1992) für kerntechnische Anlagen besitzen, die eine derartige Instrumentierung für Kernkraftwerke vorschreibt. Im Einzelnen wird in der KTA 2201 verlangt, dass in jedem Kraftwerksblock dreiaxiale Beschleunigungsaufnehmer auf je einem Fundament sowie an einer hochliegenden Position und im Freifeld zu installieren sind. Ein Registriergerät zeich-

net eventuelle seismische Signale dieser Beschleunigungsaufnehmer auf, die von einem Trigger gesteuert aktiviert bzw. deaktiviert werden. Es überwacht außerdem obere Grenzwerte der gemessenen Beschleunigungen.

Die gesamte Messinstallation dient in kerntechnischen Anlagen der frühzeitigen, integralen Feststellung möglicher seismischer Schädigungen in der Anlage und ist nur in dieser (oder einer erweiterten) Konfiguration hierfür sinnvoll. Ihre Installation erfordert gewisse Kosten, höhere jedoch die laufenden Wartungen der Geräte. Installierte Beschleunigungsaufnehmer müssen nämlich zur Wartung regelmäßig ausgetauscht und auf Rütteltischen (Shakern) neu geeicht werden.

Dies ist zur Feststellung eventueller seismischer Tragwerksschäden nach einem Erdbeben jedoch nur der erste Schritt. Ihm folgt im Erdbebeningenieurwesen generell eine sehr genaue Computersimulation der erdbebenerregten Struktur zur rechnerischen Lokalisation und Identifikation von Schwachpunkten. An diesen Stellen folgt dann der dritte Schritt, nämlich die visuelle, gegebenenfalls radiologische Kontrolle auf sichtbare Risse, Mikrorisse und plastische Schädigungen. Erst danach werden geeignete Reparaturmaßnahmen eingeleitet.

Empfehlung

Solange in Deutschland nicht sichergestellt ist, dass die Tragstrukturen von Betriebsbereichen nach StörfallV in Erdbebenstandorten nach dem Stand der Technik seismisch analysiert werden, macht aus Sicht der Berichterstatter eine generelle Vorgehensweise nach KTA 2201, d.h. eine Instrumentierung, wenig Sinn. Ausnahmen würden möglicherweise Anlagen sein, die im Falle seismischer Schädigungen hochgefährliche Stoffe in die Umwelt freisetzen können. Hier wäre die im Rahmen dieses Vorhabens kaum klärbare, offene Frage, welche derartigen Anlagen in welchen Erdbebenzonen eine seismische Instrumentierung erhalten sollen.

In keinem Fall aber dürften nach einer möglichen Instrumentierung die nächsten viel wichtigeren Schritte unterbleiben: Hoch-genaue Computeranalysen zur Lokalisation der beim Beben entstandenen Schadens-Schwachpunkte sowie visuelle bzw. radiologische Inspektionen zur detaillierten Schädigungsdiagnose. Eine Eingrenzung der Vorkehrungen oder Maßnahmen auf sicherheitsrelevante Anlagenteile in verfahrenstechnischen Anlagen ist, anders als in kerntechnischen Anlagen, hier nicht sinnvoll, wenn diese Anlagen zusammenhängende Komplexe sowohl in verfahrenstechni-

scher als auch betriebstechnischer Hinsicht sind und in einem engen räumlichen Zusammenhang stehen.

### 8.7.3.8 A-seismischer Entwurf, seismische Ertüchtigung durch Nachrüstung

Industrietragwerke besitzen weltweit selbst in seismischen Risikozonen oft Topologien, die vornehmlich dem jeweiligen Zweck angepasst sind, nicht aber einer optimalen Aufnahme seismisch induzierter Beanspruchungen. Letzteres ist im Erdbebeningenieurwesen die Aufgabe a-seismischen Entwerfens. **Abbildung 8.7.3.8.1** gibt einen Kurzüberblick über seismisch günstige und ungünstige Tragwerkstopologien und Konstruktionsdetails.

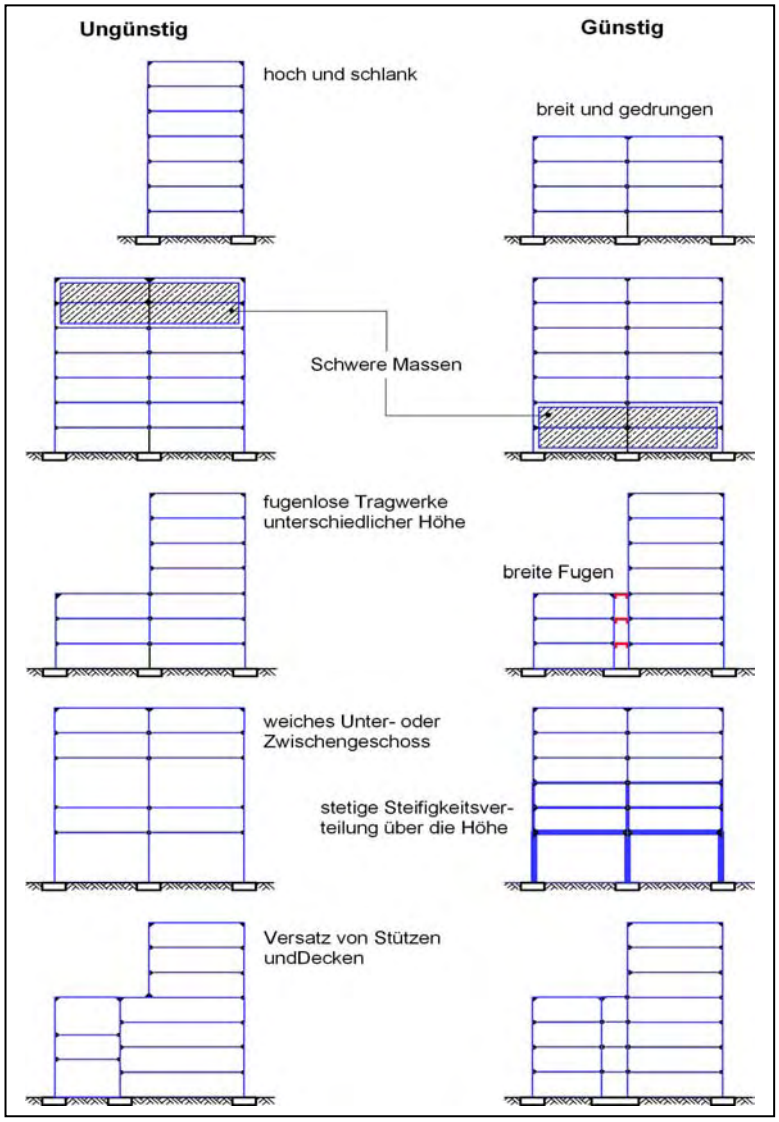



**Abbildung 8.7.3.8.1**: A-seismisch ungünstige und günstige Tragwerksformen

Die Abbildung ist selbsterläuternd, wenn man sich vergegenwärtigt, dass jede seismische Erregung zu Tragwerksschwingungen führt. Diese sollten möglichst klein gehalten werden, in benachbarten Bauteilen gleichgerichtet wirken und stoß- sowie berührungsfrei zu Nachbarbauten stattfinden.

Oftmals stehen Bauingenieure vor der Frage der möglichst effektiven und preisgünstigen a-seismischen Ertüchtigung von Tragwerken. Hierfür hält die moderne Bautechnik eine Vielzahl unterschiedlichster Verstärkungsmaßnahmen bereit, die im Folgenden kurz aufgezählt werden. Dabei soll eine Unterteilung in nur lokale Ertüchtigungen und Ertüchtigungen des Gesamttragwerks getroffen werden.

Unter lokalen Ertüchtigungsmaßnahmen verstehen wir eine nur an wenigen Bauelementen oder Tragwerksbereichen erforderlich werdende Ertüchtigung, die aber dennoch die Dynamik des Gesamttragwerks beeinflusst, d.h. dieses a-seismisch verstimmt. Hierzu zählen folgende Techniken zur Erhöhung der seismischen Steifigkeit:

- Vollflächig oder kreuzweise mit Kunstharzklebern auf Stahlbeton- oder Mauerwerkswänden befestigte vorgefertigte Bänder oder Platten aus glasfaser-verstärkten oder kohlefaserverstärkten Kunststoffen.
- Verstärkung der Schubaufnahme von Mauerwerkswänden durch nachträgliche, oft außenliegende vorgespannte Stahlanker in horizontaler und/oder vertikaler Richtung.
- Verstärkung der vorhandenen Schubwände durch Anbringung vorgefertigter Stahlfachwerke, die in Stahlschuhen verankert und so kraftschlüssig mit dem Tragwerk verbunden sind.

Bei erheblichen konstruktiven Defiziten der Erdbebensicherheit werden seismische Ertüchtigung von Gesamtragwerken erforderlich: Die verschiedenen Möglichkeiten zum Nachrüsten zwecks Erhöhung der Erdbebensicherheit zeigt **Abbildung 8.7.3.8.2**, in der oberen Reihe traditionelle Maßnahmen, in der unteren moderne [Hamburger, 2004]. Die am Beispiel einer konventionellen Rahmenkonstruktion aufgezeigten Einzelmaßnahmen können natürlich auch, zumeist vom untersten Stockwerk ausgehend nach oben, auf Einzelgeschoss-Ertüchtigungen angewendet werden. Vielfach werden die verschiedenen Maßnahmen auch miteinander kombiniert, z.B. Schubwände mit Ausfachungen.

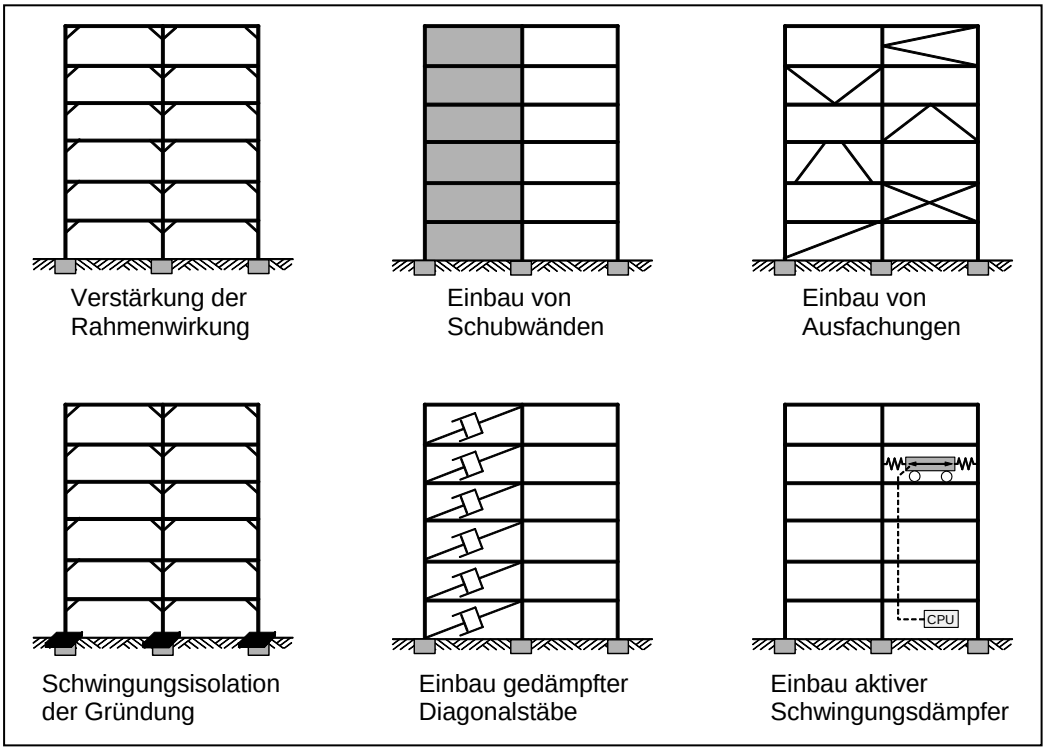



**Abbildung 8.7.3.8.2**: Bauweisen älterer und moderner a-seismischer Ertüchtigung

- Oftmals genügen kleine zusätzliche Rahmen-Eckverstärkungen, die als stählerne Fertigteile auf Stahlrahmen aufgeschweißt oder mit diesen hochfest verschraubt werden, im Falle von Stahlbetonrahmen in diese eingedübelt werden.

- Ein klassisches Hilfsmittel sind nachträglich eingebaute Schubwände aus Mauerwerk, bewehrtem Mauerwerk oder Stahlbeton. Zur Widerstandserhöhung sollten Bewehrungen in die ursprüngliche Konstruktion eingebunden oder mit ihr verschweißt werden. Auch kunststoffbeschichtete stählerne Panelwände sind schon zur Erhöhung des Erdbebenwiderstandes herangezogen worden.

- Zur a-seismischen Nachrüstung von Rahmenkonstruktionen aus Stahl bilden stählerne Ausfachungen ein bewährtes Mittel. **Abbildung 8.7.3.8.2** zeigt rechts oben verschiedene Ausfachungssysteme, deren jeweilige Anwendung sich nach den verfügbaren Freiräumen in den zu verstärkenden Gefachen richtet.

- In Deutschland werden seit 15 Jahren gelegentlich zur akustischen Isolierung von Bauten bewehrte Elastomerlager nach DIN 4141 eingesetzt, die zwischen dem Gründungskörper und den einzelnen Gründungselementen eingebaut werden. Dies ist bereits vielfach nachträglich ausgeführt worden und stellt eine relativ kostenaufwändige Isolationsmaßnahme hoher Effizienz dar. Bewehrte Elastomerlager können gleichermaßen zur Schwingungsisolation gegen Erdbeben Verwendung finden, ebenso natürlich große stählerne Federpakete wie bei Dampfturbinenlagern [Wakabayashi, 1986]. Mit derartigen Maßnahmen wird die Eigenfrequenz des Bauwerks erheblich reduziert, so dass das System aus dem Maximalbereich des seismischen Bemessungsspektrums herausgeschoben werden kann. Derartige Verstimmungsmaßnahmen an Tragwerken erfordern Ausführungsplanungen durch baudynamisch besonders erfahrene Bauingenieure.

- Ein sehr wirksames a-seismisches Ertüchtigungsmittel sind Diagonalstäbe mit seismischen Dämpfungselementen, siehe **Abbildung 8.7.3.8.2** unten Mitte. Hierbei versucht man, den seismischen Widerstand durch Aktivierung einer hysteretischen Dämpfung zu vergrößern. Bewährte Bauarten sind durch Schrauben vorgespannte Rutschkupplungen, die sich bei niedrigen Beanspruchungen (Wind und Stürme) elastisch verhalten, bei stärkeren Beben jedoch durch elasto-plastische Deformationen Energie dissipieren, sowie Reibungsdämpfer auf Elastomerbasis [Meskouris et.al., 1996].

- Dämpfer auf der Grundlage gegenschwingender Massen sind das modernste Hilfsmittel zur a-seismischen Schwingungstilgung, siehe z.B. [Nawrotzki u. Dalmer, 2005]. Man unterscheidet

    - aktive Schwingungsdämpfer, auch Schwingungstilger genannt, die durch Zuführung von Energie seismische Schwingungen reduzieren,
    - passive Schwingungsdämpfer, die durch einen oder mehrere gegenschwingende Massen das Ursprungssystem beanspruchungsmindernd verstimmen,
    - Hybriddämpfer als Symbiose beider vorgenannten Wirkungstypen.

Durch alle Arten von Dämpfern wird zusätzliche Dämpfung im Tragwerk aktiviert, und es werden seine Eigenfrequenzen verstimmt. Dämpfer stellen die wirkungsvollsten schwingungstilgenden Ertüchtigungs-Konstruktionen dar, ihr finanzieller Aufwand

liegt nach unseren Erfahrungen bei 1% bis 2% der Rohbaukosten. Sie sind unschwer nachträglich zu installieren, bedürfen jedoch der permanenten Wartung.

Das derzeit mit 508 m welthöchste Gebäude, der Büroturm Taipeh 101, besitzt einen passiven Schwingungsdämpfer von 660 t Gesamtgewicht, aufgehängt im 86. Stockwerk, zur Reduktion seiner Bewegungen aus Orkan und Erdbeben. Diese Masse ist durch 8 primäre und 8 sekundäre viskose Dämpfer mit der tragenden Struktur gekoppelt. Der Schwingungsdämpfer reduziert die ungedämpften Bauwerksbeschleunigungen um ca. 40%. Entworfen wurde er von der Firma MOTIONEERING INC. in Ontario, Kanada. Einen hervorragenden Überblick über Dämpferbauweisen der deutschen Firma MAURER gibt [Petersen, 2001].

Zusammenfassung

Nachrüstungen zur Anhebung des seismischen Widerstandes von Betriebsanlagen stellen kein Problem besonderer Schwierigkeit dar. In der modernen Bautechnik existieren vielfältige Ertüchtigungsmöglichkeiten. Alle sind in der geschilderten Weise zur a-seismischen Verstimmung bzw. Verstärkung von Tragwerken in Betriebsanlagen einsetzbar, im Großen wie auch lokal. Die finanziellen Aufwendungen hierzu sind nach unseren Erfahrungen äußerst bescheiden. Wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Ertüchtigungen bilden sorgfältige Planungsmaßnahmen baudynamisch wirklich erfahrener Ingenieure und Firmen.

### 8.7.3.9 Seismische Bodenverflüssigung

Grundbruch ist eine Versagensmöglichkeit vor allem von Flachgründungen. Hierbei bewegen sich Bodenteilchen unter dem Gründungskörper zur nächstliegenden freien Seite, solche neben dieser weichen nach oben aus. Das Fundament bzw. oft auch der gesamte Baukörper stellen sich dadurch schief (siehe Abbildung 8.3.2.2). Maßgebend für einen Grundbruch ist das Überschreiten der Scherfestigkeit des Bodens. Ausreichende Sicherheit gegen einen derartigen Grundbruch ist beim Gründungsentwurf stets nachzuweisen. Grundlage dieses Nachweises der Grundbruchsicherheit ist die (statische) Scherfestigkeit des Bodens. Bestimmt wird diese in weggesteuerten, direkten Rahmenscherversuchen oder in weggesteuerten Triaxialversuchen, deren Prinzip in **Abbildung 8.7.3.9.1** erläutert ist.

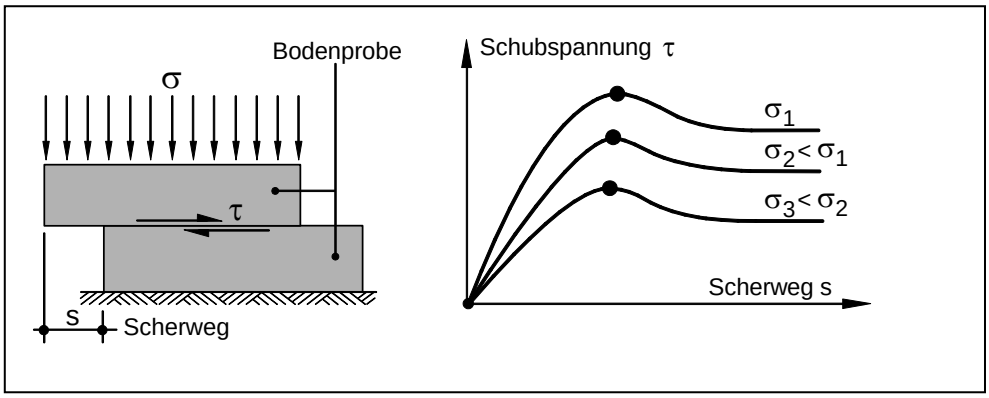



**Abbildung 8.7.3.9.1**: Prinzip eines weggesteuerten Rahmenscherversuchs

Die Bodenprobe ist in einen (nicht dargestellten) Geräterahmen eingebaut und wird weggesteuert abgeschert. Nach Einleitung des Scherwegs s erreicht die $\tau$/s-Arbeitslinie zunächst das Maximum des Schub-Grenzzustandes, um dann nach größerem Scherweg auf einen stationären Weg abzusinken, der als Scherfestigkeit definiert ist. Die Höhe des Maximalwertes und der Scherfestigkeit sind von der Querdruckspannung $\sigma$ (als Druckspannung positiv) abhängig. Beide sind außerdem stark vom Porenwassergehalt des Bodens abhängig.

Unter zyklischer Belastung, wie sie bei Erdbeben auftreten können, neigen besonders wassergesättigte, gleichförmige und feinkörnige Böden zum Verlust ihrer Scherfestigkeit, was als Bodenverflüssigung (Liquifaction) bezeichnet. Generell entfestigt sich Boden durch Überspannen mit Wasser, durch Entspannen verfestigt er sich wieder. Ersteres kann sich negativ bei Offshore-Bauwerken oder während Erdbeben bemerkbar machen, letzteres macht man sich bei temporären Grundwasserabsenkungen mittels Brunnen als Baumaßnahme zu nutze. Bei mechanischer Entlastung eines Bodenvolumens entsteht in diesem eine Dilatation mit Unterdruck im Porenwasser, wodurch Wasser von außen zusickern kann. Durch eine nachfolgende Belastung versucht der Boden zu kontrahieren, wodurch ein Teil des Druckes vom Porenwasser aufgenommen wird. Mit wachsender Zyklenzahl können sich so große Porenwasser-Überdrücke aufbauen, sofern die Bodenkörnung fein genug ist, um kurzfristiges Ausströmen des Wassers zu verhindern. Hierdurch kann die Scherfestigkeit bis zum Totalverlust reduziert werden.

In der Regel KTA 2201.2, 5 findet sich für alle sicherheitsrelevanten Bauten kerntechnischer Anlagen die Verpflichtung zur Auseinandersetzung mit dem Problem der seismischen Bodenverflüssigung, und im dortigen Anhang A3 ist ein Schema zur Ab-

schätzung des Verflüssigungspotenzials enthalten. Dieses basiert auf den frühen Publikationen [Richart et al., 1970, Seed u. Idriss, 1971]. Es ist in [Klein, 2001] etwas weitergehend erläutert.

Die internationale Forschung dieses Phänomens scheint nicht prioritär zu sein, obwohl in den Beben von Managua 1973 – siehe Abbildung 8.3.2.2 – und Mexico City 1985 viele Gebäude durch Bodenverflüssigung zu Schaden kamen [Massarsch, 2000]. Auch in Deutschland scheinen verschiedentlich derartige Schadensfälle aufgetreten zu sein. Dennoch liegen beispielsweise Kataster über fließgefährdete Böden nicht vor; allerdings sind Bodengutachter stets sehr gut informiert. Um die mögliche Bedeutung dieses Phänomens für Anlagen einzuschätzen, sollten Experten aus der Bodendynamik befragt werden [Helm et.al., 2000].

Ergebnis

Zu einer regelgerechten Genehmigungsplanung nach Bauordnung gehören ausführliche Angaben zum Baugrund bzw. bei allen größeren Vorhaben ein Baugrundgutachten. Hierin muss vom Baugrundsachverständigen zu allen Festigkeits- und Standsicherheitseigenschaften des vorliegenden Baugrundes Stellung bezogen werden, im Falle seismischer Gefährdung natürlich auch zu zur Bodenverflüssigung neigenden Fließsanden, sofern diese am Standort erwartet werden.

### 8.7.3.10 Maßnahmen nach Erdbeben

Wie bereits im Abschnitt 8.7.1.5 im Einzelnen dargelegt, liefert das Baurecht keine Aussagen über die Situation baulicher Anlagen nach einem Erdbeben. Internationaler Gepflogenheit entspricht es, die entstandenen Schäden aufzunehmen und das geschädigte Tragwerk sicherheitsrelevant zu bewerten, beispielsweise mittels der im Abschnitt 8.7.3.5 beschriebenen Schädigungsindikatoren $D_i$. Nach Erdbebenereignissen ab einer bestimmten Größe – z.B. 4,5 entsprechend der Richterskala – sind Anlagen der Chemie und Petrochemie abzufahren, soweit möglich zu entleeren, zu inertisieren und im Anschluss einer Überprüfung zu unterziehen.

Diese muss u.a. sowohl Sicht-, Material- und Werkstoffprüfungen als auch Funktionsprüfungen der E-Technik und der MSR/PLT umfassen. Prüfungen der Standsicher-

heit von Tragwerken mit geschädigten Komponenten sind nicht vorgesehen, offenbar, weil man von ihrem Austausch ausgeht.

## 8.8 Zusammenfassung

Für die Betrachtung der Einwirkungen aus Sturm und Erdbeben wurden die neuesten Normen (DIN 1055-4 (03/2005): *Windlasten* und DIN 4149 (04/2005): *Bauten in deutschen Erdbebengebieten*) zugrunde gelegt. Diese Normen spiegeln für die große Mehrheit der baulichen Anlagen den Europäischen Stand der Technik, den der *Euro-Codes ECs*, wieder, sofern beim Virulentwerden des behandelten Risikos keine zusätzlichen Gefahren ausgehen können. Für alle nach den deutschen Länderbauordnungen zu genehmigende/mitzugenehmigende Bauwerke stellen sie rechtsverbindliche Regelungen dar.

Gemeinsam mit dem Tragwerkszuverlässigkeitskonzept der neuen deutschen Normengeneration, dessen Grundzüge in der DIN 1055-100 (03/2001): *Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln* niedergelegt sind und ebenfalls in diesem Kapitel mit dem sicherheitstheoretischen Hintergrund skizziert wurden, gestatten sie die beste verfügbare Abschätzung des bautechnischen Risikos von baulichen Anlagen.

Allerdings sind für Anlagen in Betriebsbereichen gewisse Einschränkungen zu machen:

- DIN 1055-4 gilt (wohl) für alle Tragwerke.
- DIN 1055-100 gilt für Tragwerke des Hoch- und Ingenieurbaus, macht jedoch im § 1, (6) die Einschränkung, dass Bauwerke mit besonderen Sicherheitsanforderungen nicht vollständig erfasst werden.
- DIN 4149 steht unter dem Primat des Personenschutzes und nimmt daher Anlagen, von denen im Erdbebenfall besondere Gefahren ausgehen können, im § 1, (2) ausdrücklich aus.

Wichtig ist zu betonen, dass es derzeit keine modernen Baunormen für die ausgenommenen Objekte gibt.

# 9 Bergsenkungen/bergbauinduzierte Bodenbewegungen als Gefahrenquelle für Betriebsbereiche

Um die Wirkung der Gefahrenquelle Bergsenkungen auf Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung zu ermitteln, werden zuerst die wesentlichen Vorgänge von Bergsenkungen im Folgenden dargelegt.

Die Gefährdung „baulicher Anlagen“ (Definition in Kap. 9 für Bauwerke) durch untertägigen Bergbau resultiert vornehmlich aus bergbauinduzierten Bodenbewegungen wie Senkungen, Schieflagen, Krümmungen sowie Zerrungen und Pressungen, die in der Lage sind die Standsicherheit bzw. Gebrauchstauglichkeit von Anlagen nicht unerheblich zu beeinträchtigen. Bei technischen Anlagen können beispielsweise unterschiedliche Setzungen oder Verwindungen zum Bruch sicherheitsrelevanter Komponenten wie z.B. Rohrleitungen oder zu Rissen in Behältern führen.

Im Gegensatz zu den sonstigen in diesem Vorhaben betrachteten Gefahrenquellen, handelt es sich bei bergbauinduzierten Bodenbewegungen nicht um eine rein natürliche Gefahrenquelle für Betriebsbereiche und Anlagen. Wegen der Ähnlichkeit der Einwirkung und da es sich für den Betreiber des Betriebsbereiches oder der Anlage ebenfalls um eine umgebungsbedingte Gefahrenquelle handelt, werden bergbauinduzierte Bodenbewegungen in diesem Vorhaben ebenfalls betrachtet.

Im nachfolgenden steht der Begriff *bauliche Anlage* entsprechend den Definitionen der Landesbauordungen für alle mit dem Erdboden (Grundstück) verbundenen aus Bauprodukten erstellten Anlagen und Anlagenteile. Eine bauliche Anlage kann somit sowohl Bauwerke (Gebäude) als auch technische Anlagenbereiche umfassen. Ein Tragwerk, eine Tragkonstruktion oder Tragstruktur ist eine auf die lastabtragenden Komponenten reduzierte bauliche Anlage.

Im Gegensatz dazu sind Anlagen (ggf. Teil von Betriebsbereichen) im Sinne des BImSchG Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen mit technischen Einrichtungen sowie Grundstücke, auf denen Stoffe gelagert oder abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können. (Die genaue Definition ist in § 3 Abs. 5 und 5a des BImSchG festgelegt.)

Die in der Folge gewählte Bezeichnung Bauwerk erklärt sich aus den Begriffen der Tragwerksplanung und Statik sowie des Bergrechtes und bezieht sich auch auf

Anlagen nach § 19g des WHG sowie Betriebsbereiche gemäß der Störfall-Verordnung. Eine verfahrenstechnische Anlage besteht i.d.R. auch immer aus einem oder mehreren Bauwerken. Im Falle von Genehmigungen greift das Baurecht direkt oder über das BImSchG, in welchem das Baurecht bei Anlagen, die unter dessen Genehmigungspflicht fallen, konzentriert ist. (Nähere Ausführung hierzu unter Kap. 8.)

Von den drei im Forschungsprojekt eingebundenen Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Sachsen wurde aufgrund der größten Relevanz in Bezug auf Bergsenkungen eine Betrachtung, sofern diese sich sinnvollerweise auf repräsentative Gebiete bezieht, für Nordrhein-Westfalen vorgenommen.

## 9.1 Kenntnisstand über das Wirksamwerden von Bergsenkungen

### 9.1.1 Allgemeines zu den bergbaulichen Einwirkungen

In der Bergschadenkunde wird zwischen Abbauen in größerer Teufe und oberflächennahem Abbau mit einer Teufenbegrenzung von 100 bis 150 m unterschieden. Für den Abbau in der obersten Zone des oberflächennahen Bereichs wurde der Begriff tagesnaher Bergbau eingeführt. Die dabei auftretenden Bodenbewegungen folgen nicht den Gesetzmäßigkeiten, wie sie für Abbaue in größerer Teufe gelten. Im tagesnahen Abbau können Phänomene wie z.B. Tagesbrüche auftreten, deren Einwirkungen an der Tagesoberfläche zeitlich nicht erfaßbar sind.

Die wesentlichen Grundlagen der Bergschadenkunde sind u.a. im Grundbau-Taschenbuch Teil 3 Abschnitt 3.9. *Gründungen in Bergbaugebieten* [Smoltczyk, 2001] aufgeführt. Im weiteren wird hier der Abbau in größerer Teufe behandelt, wie er zur Zeit in den Steinkohlerevieren von NRW betrieben wird.

### 9.1.2 Bewegungsvorgänge über Abbauen in größerer Teufe

Die Gewinnung der Steinkohle in NRW erfolgt in rd. 800 - 1.400 m Teufe. Durch den Abbau eines Flözes tritt eine Absenkung der hangenden Gebirgsschichten und Deckschichten über dem Abbaufeld ein (**Abbildung 9.1.2.1**).

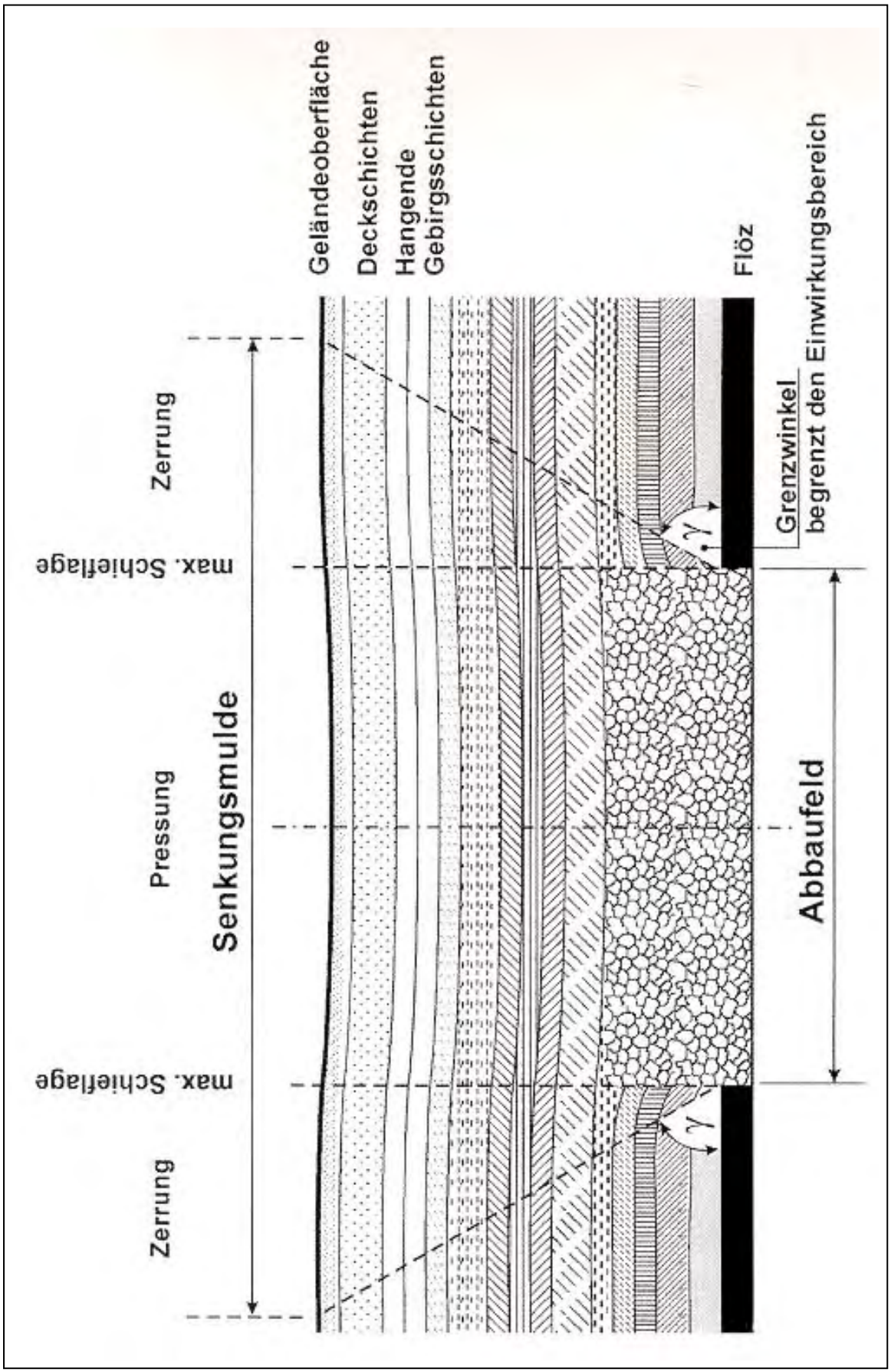



**Abbildung 9.1.2.1**: Absenkung der hangenden Gebirgsschichten über dem Abbaufeld mit Senkungsmulde [Smoltczyk, 2001]

Unmittelbar über dem Hohlraum brechen die Dachschichten herein, während sich die Gebirgsschichten in einem 3 bis 5-fachen Abstand oberhalb des Kohleflözes nur noch plastisch verbiegen. Bei einem gleichmäßigen Abbau ohne geologische Störungen entsteht hierdurch an der Geländeoberfläche eine Senkungsmulde in Form eines Troges (Trogtheorie). Mit der Ausbildung der Senkungsmulde an der Geländeoberfläche geht eine räumliche Bewegung der einzelnen Geländepunkte in Richtung auf den Abbau- bzw. Senkungsschwerpunkt einher (**Abbildung 9.1.2.1.1**). Hierdurch entstehen neben vertikalen auch horizontale Verschiebungen der Geländeoberfläche, die eine Längung bzw. Kürzung der Oberfläche verursachen.

Die Bewegungselemente des Senkungstroges und ihre Bezeichnungen sind in DIN 21917 geregelt. Die vertikale Wegkomponente wird als Senkung s bzw. vz, die horizontale Wegkomponente als Verschiebung v bzw. vx, vy bezeichnet. In **Abbildung 9.1.2.1.2** sind sie Bewegungselemente eines Senkungstroges und ihre Bezeichnungen aufgeführt.

### 9.1.2.1 Senkungstrog

Die Senkungsmulde wird gekennzeichnet durch den Bruchwinkel $\beta$, der das Maximum der Zerrungen aufzeigt und durch den Grenzwinkel $\gamma$ über den keine Verformungen hinausgehen und der damit den Einwirkungsbereich an der Geländeoberfläche begrenzt. Bruch- und Grenzwinkel sind abhängig von der Beschaffenheit des Gebirges und dem Einfallen der Schichten. Innerhalb des Einwirkungsbereichs beschreibt jeder Punkt im Gebirge, d.h. auch an der Tagesoberfläche, eine räumliche Bewegung, die sich in die Senkung als vertikale und die Verschiebung als horizontale Komponente aufgliedern läßt.

Die Differenz der Verschiebung zweier Punkte je nach Lage zum Schwerpunkt des Senkungstroges äußert sich als Zerrung, d.h. Längung des Bodens oder als Pressung, d.h. Verkürzung des Baugrundes. Zwei benachbarte Punkte (A und B) an der Tagesoberfläche führen in der Regel unterschiedliche Bewegungen aus, die abhängig sind von der Lage zum Senkungstrog. Während der Punkt A am Rande des Einwirkungsbereichs nur eine geringe horizontale Verschiebung aufweist, zeigt der Punkt B - näher am Zentrum des Senkungstroges - eine entsprechend größere Verschiebung. Die Differenz der Verschiebung beider Punkte äußert sich in einer Zerrung, da die ursprüngliche Entfernung beider Punkte zueinander größer geworden ist.

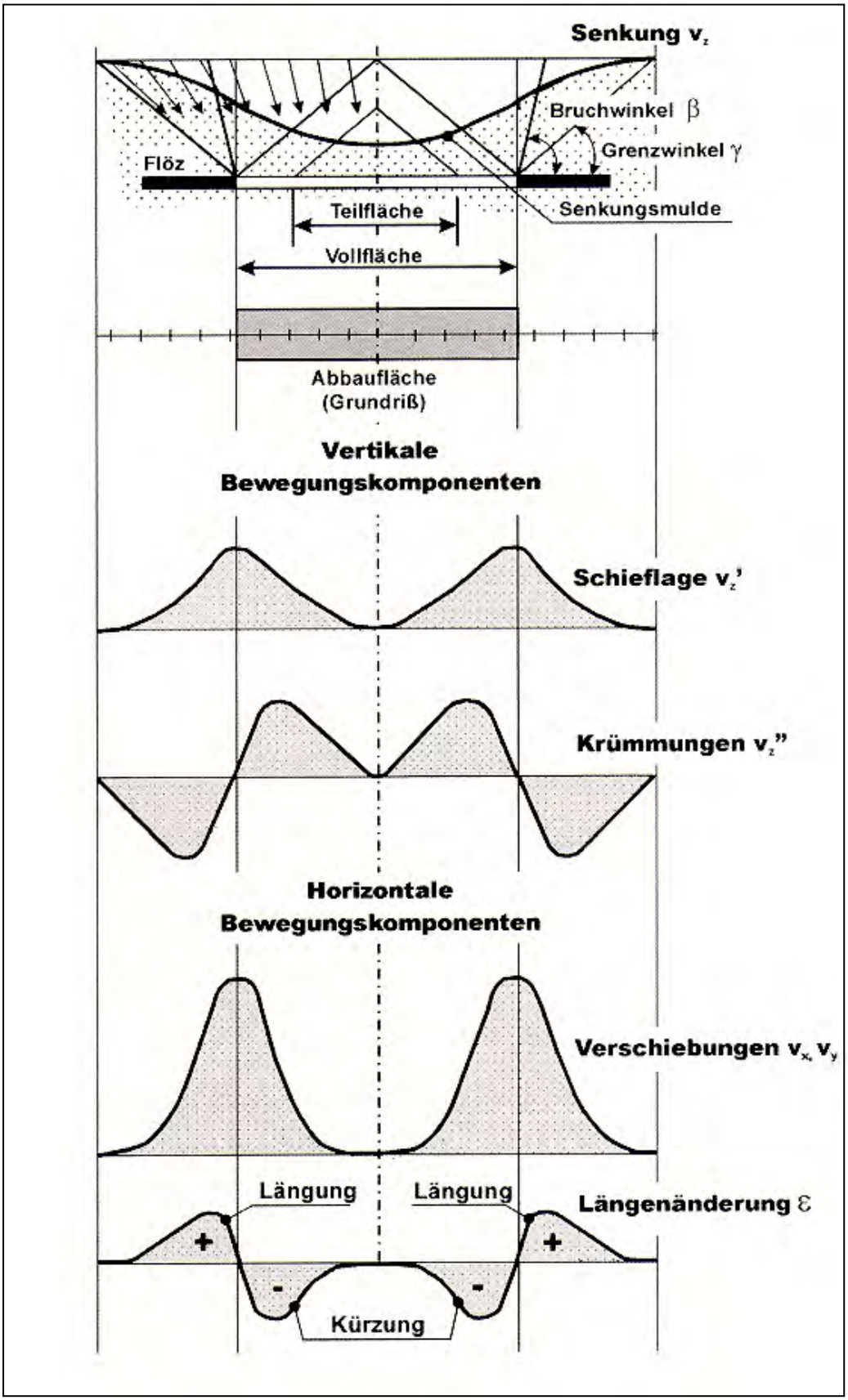



**Abbildung 9.1.2.1.1**: Einwirkungen auf die Geländeoberfläche bei Abbau einer Vollfläche in horizontaler Lagerung

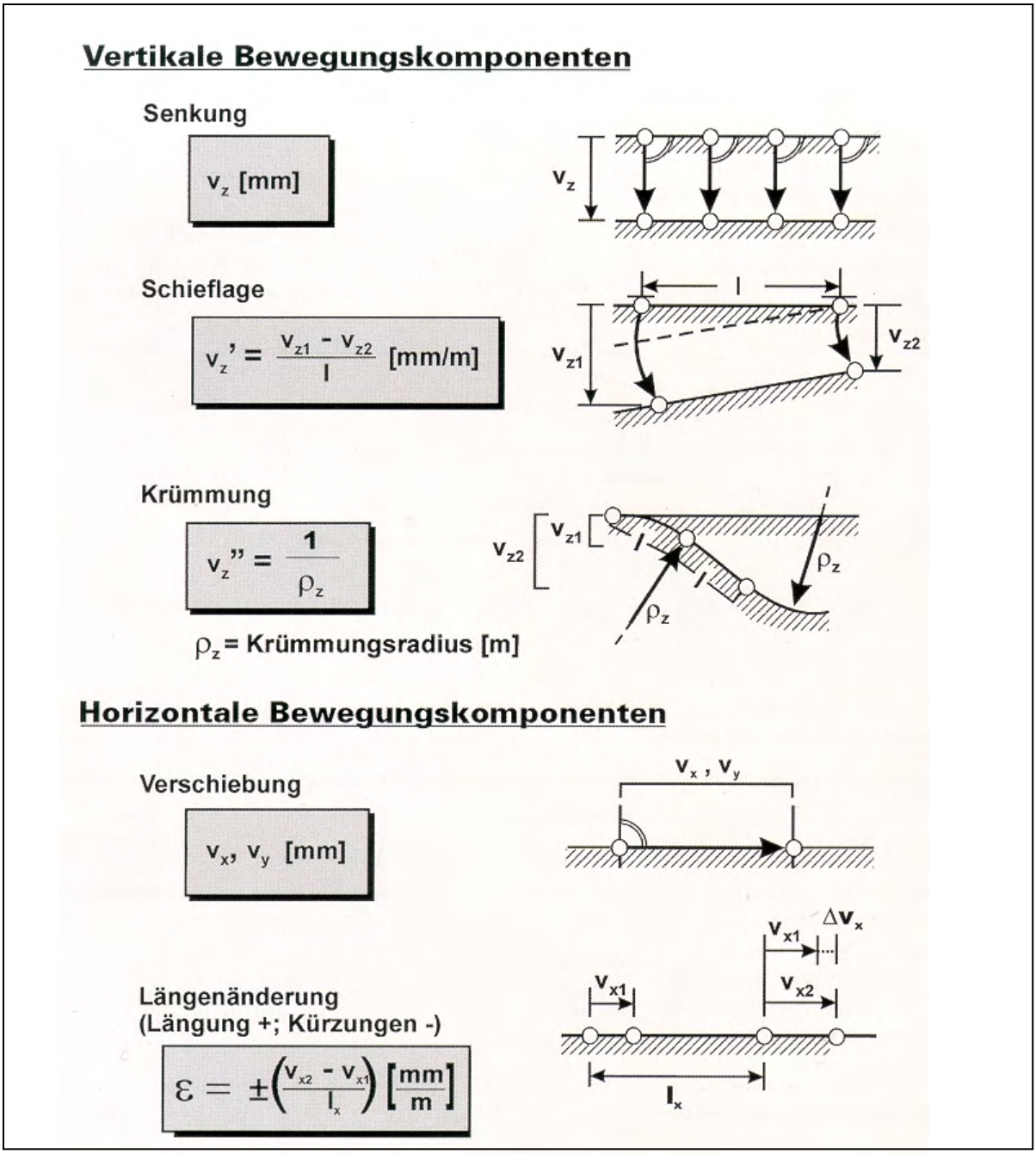



**Abbildung 9.1.2.1.2**: Vertikale und horizontale Bewegungskomponenten der Senkungsmulde

Liegen die Punkte A und B näher am Zentrum des Senkungstroges, ändert sich die Bewegungsrichtung. Die vertikale Senkungskomponente nimmt zu, die horizontale ab. Folglich erfährt der weiter vom Zentrum entfernte Punkt A eine größere horizontale Verschiebung als der näher gelegene Punkt B. Es kommt zu einer Verkürzung des Punktabstandes, d.h. zu einer Pressung.

Größe der Senkung

Die Größenordnung der Senkungen wie auch die Form der Senkungsmulde hängen von der Gesamtmächtigkeit (Dicke) des abgebauten Flözes und dessen Teufenlage, von der Größe der Abbaufläche und von der Abbauart ab. Beim Bruchbau (Abbau ohne Verfüllung der Hohlräume) betragen die Geländesenkungen ca. 90 % der Mächtigkeit des abgebauten Flözes, beim Versatzbau (Abbau mit Verfüllung der Hohlräume mittels Versatz (Verfüllmaterial) treten an der Geländeoberfläche Senkungen von etwa 40-60 % der Flözdicke auf.

Zeitlicher Verlauf

Der zeitliche Verlauf der Senkung ist im Ruhrgebiet etwa wie folgt:

| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | Jahr |
|---|---|---|---|---|---|
| 75 | 15 | 5 | 3 | 2 | % der Gesamtsenkung |

Diese Werte sind lediglich Anhaltswerte, welche entsprechend der Teufe des Abbaus, der Schichtenfolge und des Abbaus unterhalb bereits abgebauter Flöze (Durchbauung) auch anders verteilt sein können.

Der zeitliche Senkungsablauf läßt sich in drei dynamische Bewegungsphasen untergliedern. Die Vorsenkungs- oder Anlaufphase, die bei erstem Abbau mehrere Monate betragen kann, während sie bei einem mehrfach durchbauten Abbaufeld direkt in die Hauptsenkungsphase übergeht. In der Hauptsenkungsphase treten etwa 70 % der Senkungen ein. Der Zeitraum beträgt zur Zeit im Ruhrrevier ca. 2 Jahre. Die Hauptsenkungsphase ist grundsätzlich abhängig von der Abbauteufe und der Abbaugeschwindigkeit. An die Hauptsenkungsphase schließt sich die Nachsenkungsphase an, deren Zeitraum 0,5 bis 3 Jahre betragen kann. In den meisten Fällen haben sich bereits nach 3 Jahren ca. 95 % der maximal zu erwartenden Senkungen eingestellt.

### 9.1.2.2 Unstetigkeiten

Zum regelmäßigen Erscheinungsbild des Abbaus gehören neben den Senkungen und Verschiebungen Risse und Bodenstufen. Die Ursachenerforschung solcher Unstetigkeiten, die in der Regel regionaltypisch sind, befindet sich noch in den Anfängen. Es gibt bisher kein Verfahren, das unter Berücksichtigung entsprechender Einflussgrößen die dazu notwendigerweise bekannt sein müssten, eine rechnerische Ermittlung der Lage, der Erstreckung und des Ausmaßes solcher Unstetigkeiten erlaubt. Prognosen lassen sich daher nur durch Auswertung empirischer Untersuchungen aufstellen.

Es ergeben sich statistische Abhängigkeiten einerseits von vorhandenen tektonischen Störungen und andererseits vom Abbauzuschnitt. Der Rückgriff auf die statistische Methode bedeutet allerdings auch, dass man es mit Wahrscheinlichkeiten zu tun hat und das Auftreten von Rissen und Stufen weder mit Sicherheit vorhergesagt noch insbesondere an den Rändern des Einwirkungsbereichs mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

In erster Linie bestimmend für das Auftreten von Unstetigkeiten ist der Abbauzuschnitt. Unstetigkeiten entwickeln sich meist außerhalb der eigentlichen Abbaufläche parallel zur stehenden Abbaukante. Eine besonders hohe Wahrscheinlichkeit des Auftretens entsteht dann, wenn sich die Auswirkungen zweier Abbaufelder, die untereinander einen Abstand von wenigstens 30 m aufweisen, überlagern. Solche – meist etwas größere – Abstände ergeben sich in der Regel dann, wenn tektonische Störungen in den kohleführenden Schichten (Karbon) die Abbauflächen begrenzen. Die Lage der gegebenen tektonischen Störungen bestimmt daher indirekt über die Abbauplanung auch die Zonen, in denen mit dem Auftreten von Unstetigkeiten besonders gerechnet werden muss.

Darüber hinaus neigen aber auch „normale“, d.h. nicht von einem anderen Abbau überlagerte Abbaukanten bereits häufig zur Bildung von Unstetigkeiten. Die Häufigkeit von Erdstufen nimmt mit der Nähe des Abbaus zur Oberfläche des Karbons zu.

Stehende Abbaukanten sind die Seiten eines Abbaufeldes (Bauhöhe) sowie die Strecke, von der aus der Abbau beginnt. Vor der Abbaufront bilden sich in der Regel keine Unstetigkeiten, weil das Fortschreiten des Abbaus Gegenbewegungen erzeugt, welche die Spannungen im Gebirge wieder reduzieren. Etwas anderes gilt jedoch dann, wenn der Abbau – z.B. wegen Feiertagen oder aus technischen Gründen –

zum Stehen kommt. Dann benötigt es eine Zeit von lediglich drei bis vier Tagen, bis sich Auswirkungen an der Tagesoberfläche zeigen; dies können dann u.U. auch Risse oder Stufen sein.

Tektonische Störungen bilden die zweite wesentliche Ursache für das Auftreten von Unstetigkeiten. Diese sind im gebirgsmechanischen Sinne grundsätzlich als Schwächezonen anzusehen. Gerät das Gebirge unter horizontale oder vertikale Spannungen, dann werden sich Risse und Stufen zu allererst dort zeigen, wo der Zusammenhalt in den genannten Schwächezonen bereits gelockert ist. Nicht ausreichend geklärt ist allerdings, inwieweit sich Sprünge im Karbon auch in das Deckgebirge hinein fortsetzen.

### 9.1.3 Einwirkungen auf Gebäude, Anlagen und Betriebsbereiche

Mit dem Fortschreiten des Kohleabbaus im Flöz entwickelt sich wie bereits oben erläutert an der Tagesoberfläche zeitversetzt ein Senkungstrog. Durch diesen sich erweiternden, mobilen Trog erfährt eine bauliche Anlage /Bauwerk quantitativ und qualitativ veränderliche Einwirkungen. Diese sind von der globalen Bauwerkslage zum Abbau und vom Stand des Abbaues im Flöz abhängig. Während des Abbaus eines Flözfeldes kann eine bauliche Anlage/Bauwerk mehr oder weniger den Einwirkungen

- Senkung,
- Schieflage,
- Krümmung,
- Zerrung und Pressung

ausgesetzt sein.

#### 9.1.3.1 Einfluss einer Senkung

Eine gleichmäßige Senkung erzeugt keine zusätzlichen Spannungen in einer Bauwerkskonstruktion und bleibt daher auch beim Entwurf und der Bemessung des Bauwerks unberücksichtigt. Sie hat jedoch Einfluss auf die Vorflutverhältnisse und

kann einen relativen Anstieg des Grundwasserspiegels mit sich bringen. Gerät dabei die Bauwerksgründung in die Nähe des Grundwasserspiegels oder taucht sie sogar darin ein, so wird hierdurch ggf. nicht nur die Gebrauchsfähigkeit, sondern auch die Standsicherheit nachteilig berührt (z.B. Grundbruch, Auftrieb).

### 9.1.3.2 Einfluss einer Schieflage

Aus einer unterschiedlichen Senkung ergibt sich für das Bauwerk eine Schieflage, deren Maximum am Übergang zwischen konvex und konkav gekrümmter Senkungsmulde auftritt. Mit der dadurch verbundenen Kippung entstehen neben den sonst vertikalen Kräften zusätzliche Horizontalkomponenten, die bei relativ schlanken Bauwerken wie Schornsteinen und Silos oder auch bei Bauwerken, die in einer Dichtungswanne stehen, zu beachten sind.

Darüber hinaus ist in jedem Fall die Gebrauchsfähigkeit des Bauwerks unter Berücksichtigung der Anforderungen aus seiner Nutzung (z.B. Aufzüge, Werkmaschinen und Fertigungsstraßen, Kraftwerkkessel, Behälter) zu untersuchen.

Schieflagen von mehr als 1 % können die Nutzung von üblichen Bauwerken deutlich wesentlich beeinträchtigen. Für bauliche Anlagen, die Schiefstellungen gegenüber besonders sensibel sind, ist die Gebrauchstauglichkeit auch schon bereits bei Schieflagen unterhalb von 1% wesentlich beeinträchtigt.

In verfahrenstechnischen Anlagen der Chemie und Petrochemie würden bei einer Schiefstellung von relevanten Komponenten (z.B. Rektifikationskolonnen) die komplexen Prozesse nicht mehr optimal ablaufen und ggfs. Anlagen außer Betrieb genommen. Eine Schieflage von >1 % ist dabei in aller Regel nicht mehr akzeptabel. Eine Überwachung ergibt sich automatisch über die MSR/PLT; dies allerdings nur indirekt durch Messung der relevanten Prozess- oder auch Lagerparameter. Relevante Anlagen oder auch Lagerbereiche werden i.d.R. über ein Messprogramm durch Vermessungsingenieure kontrolliert.

Eine Verpflichtung zur Überwachung von Schiefstellungen von Anlagen entsprechend ihrer Sensitivität in Betriebsbereichen in Bergsenkungsgebieten sollte Nebenbestimmung in Genehmigungen oder nachträglich angeordnet werden.

### 9.1.3.3 Einfluss einer Krümmung

Die Krümmung stellt mathematisch die 2. Ableitung der Senkung innerhalb der Gründungsfläche dar und erzeugt Biegemomente in der Bauwerkskonstruktion. Die Größe dieser Beanspruchung ist abhängig von der Biege- und Verwindungssteifigkeit der konstruktiv zusammenhängenden Bauteile. Während ein ideal biegeweiches Bauwerk ohne zusätzliche Beanspruchung der Krümmung folgt, entstehen für ein biegesteifes Gebäude infolge der unterschiedlichen Krümmung aus der Sattel- bzw. Muldenlage Freilagen. Je nach Abbauwirkung können für biegesteife Bauwerke sehr unterschiedliche Auflagerbedingungen entstehen. Form und Ausmaß der Freilagen (Hohl- und Kraglagen) sind nicht nur abhängig von der Abbaurichtung, sondern auch von der Zusammendrückbarkeit des Untergrundes. Bei wenig zusammendrückbarem Untergrund können Spannungskonzentrationen entstehen.

Biegeweiche und biegesteife Bauwerke sind jedoch als Grenzfälle anzusehen. Die meisten Hochbauten besitzen eine Steifigkeit, die zwischen biegeweich und biegesteif liegen.

### 9.1.3.4 Einfluss einer Längenänderung (Zerrung und Pressung)

Durch die Relativverschiebungen zwischen Baugrund und Bauwerk / Bauwerksgründung entstehen Reibungskräfte in den Sohl- und Seitenflächen und Erdwiderstände vor den Stirnseiten der in den Boden einbindenden Bauwerkswände. Einen besonders negativen Einfluss kann eine Längenänderung auf Pfahlgründungen besitzen.

### 9.1.3.5 Einfluss konzentrierter Bodenbewegungen

Die beim Abbauen in größerer Teufe in der Zone maximaler Zerrungen auftretenden konzentrierten Bodenbewegungen können nach neueren Erkenntnissen je nach Baugrundaufbau, Lage des Grundwasserspiegels, Abbaufolge u.a. wie bei tagesnahen Abbauen zu Erdfällen führen. Hieraus folgen örtlich begrenzte, jedoch relativ große Krag- und Hohllagen für darüber stehende Bauwerke, für die diese nicht bemessen sind bzw. werden können.

### 9.1.3.6 Zusammenfassung

In Bergsenkungsgebieten treten demnach außer den Reaktionsbewegungen aus der Gebäudebelastung noch zusätzliche, selbständige Verformungsbewegungen des Baugrunds infolge Abbau hinzu. Der Baugrund ist hier ein aktives Bauelement mit horizontalen und vertikalen Lastfällen, die bei der Sicherung bzw. Sanierung von Bauwerken zu berücksichtigen sind.

Im Gegensatz zu den Einwirkungen Erdbeben und Wind, sind die mit untertägigem Steinkohleabbau einhergehenden Bergsenkungen ein kontinuierlicher wenn auch nicht linearer Vorgang, deren Größe innerhalb einer gewissen Bandbreite – von dem Phänomen der Unstetigkeiten abgesehen – gut vorhersehbar ist.

Die Grundlage für die Sicherung von Bauwerken gegen Bergschäden liefert der Markscheider. Er gibt aufgrund von Messungen und Berechnungen unter Beachtung der bergbaubetrieblichen Planung die Größenordnung, Richtung und den zeitlichen Ablauf der Bodenbewegungen an, aus denen letztlich die möglichen Krafteinwirkungen aus bergbaulicher Tätigkeit auf baulichen Anlagen abgeleitet werden. Aufgabe des Markscheiders ist demnach die ständige Überwachung der vorhabensbedingten Senkungen. Entsprechende Überwachungskonzepte werden in den Rahmenbetriebsplänen festgelegt.

Die Vorausberechnungen der vertikalen Bodensenkungen s, die auf stochachstische Methoden beruhen, sind mittlerweile recht genau. Auf Grund nicht zu ermittelnder örtlicher Besonderheiten können jedoch auch gewisse Unsicherheiten bestehen. So kann z.B. der Senkungstrog und damit der Einwirkungsbereich durchaus größer ausgebildet sein, als die Berechnungen ergeben, da der Schenkel des sogenannten Grenzwinkels keine Gerade darstellt, sondern eine konvexe Krümmung aufweist, so dass sich bei größerer Teufe eine überproportionale Vergrößerung des Einwirkungsbereichs ergibt.

Die Vorausberechnungen der horizontalen Bodenbewegungen v, mit dem Ziel, aus Verschiebungsunterschieden von Punkten Längungen und Verkürzungen abzuleiten, ist aufgrund der Vielzahl der Einflussparameter auch heute noch mit größeren Ungenauigkeiten verbunden.

Interessant ist die Beobachtung, dass am Rand der Senkungsmulde beim Herannahen des Abbaus zunächst die Horizontalbewegung intensiver einsetzt als die Sen-

kung. Daraus läßt sich ein Risiko der Rißbildung weit vor der Abbaufront herleiten. Die Planungsparameter lassen sich in zwei Hauptgruppen aufteilen

- Planungsveränderliche Parameter
  - Abbaurichtung
  - Verhiebsrichtung
  - Abbaugeschwindigkeit
  - Abbaufrequenz
  - Abbaurhythmus
  - Dachbehandlung
  - Streblänge
  - Streichende Baulänge
  - Kohlefesten

- Unveränderliche lagerstättenbedingte Parameter
  - Flözmächtigkeit
  - Einfallen
  - Teufe
  - Gebirgsmechanische Vorbeanspruchung (Durchbauungsgrad)
  - Tektonische Gebirgsbeanspruchung
  - Mächtigkeit und Zusammensetzung des Deckgebirges
  - Abbauabstand zum Deckgebirge
  - Nebengesteinsverhältnisse

Für eine realitätsnahe Prognose bergbaulicher Einwirkungsgrößen ist die ständige Anpassung der Berechnungsparameter an die sich einstellende Trogform und Verformungsgröße von entscheidender Bedeutung. Eine Übertragung der Messergebnisse auf andere Abbaufelder ist jedoch nicht möglich, da sich die geologischen, die lagerstättenbedingten und die planungsveränderlichen Parameter in der Regel ändern.

Nach Vorgabe der zu erwartenden Bodenbewegungen durch den Markscheider hat u.U. der geotechnische Sachverständige dann zu klären, welche Reaktionskräfte durch die Bodenbewegungen unter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften des Untergrundes auf das Bauwerk einwirken.

Der Tragwerksplaner muss prüfen, ob die Reaktionskräfte vom Bauwerk schadensfrei aufgenommen werden können bzw. welche konstruktiven Maßnahmen zu treffen sind, um eine Schadensfreiheit bzw. Schadensminderung zu erreichen.

Wesentliche Informationen sollten in den Sicherheitsbericht von Betriebsbereichen nach der StörfallV im Rahmen einer Fortschreibung einfließen. Eine Verpflichtung zur Überwachung u.a. von Längenänderungen an Anlagen entsprechend ihrer Sensitivität in Betriebsbereichen in Bergsenkungsgebieten (aufgrund § 6 Abs. 1 Nr. 1 StörfallV) sollte Nebenbestimmung in Genehmigungen oder nachträglich angeordnet werden.

## 9.2 Stand der relevanten, gültigen Rechtsvorschriften und Regelwerke

### 9.2.1 Das Bundesberggesetz

Das Bundesberggesetz wurde mit folgenden Zielen verabschiedet [BBergG, 2005]:

1. Zur Sicherung der Rohstoffversorgung das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen unter Berücksichtigung ihrer Standortgebundenheit und des Lagerstättenschutzes bei sparsamem und schonendem Umgang mit Grund und Boden zu ordnen und zu fördern,

2. die Sicherheit der Betriebe und der Beschäftigten des Bergbaus zu gewährleisten sowie

3. die Vorsorge gegen Gefahren, die sich aus bergbaulicher Tätigkeit für Leben, Gesundheit und Sachgüter Dritter ergeben, zu verstärken und den Ausgleich unvermeidbarer Schäden zu verbessern.

Der Schutz baulicher Anlagen Dritter gegen Gefahren aus bergbaulichen Tätigkeiten wird im Rahmen dieses Gesetzes in den nachstehenden Abschnitten geregelt.

BBergG § 110 Anpassungspflicht

> *(1) Soweit durch Gewinnungsbetriebe, für die zumindest ein Rahmenbetriebsplan nach § 52 Abs. 2 Nr. 1 vorliegt, Beeinträchtigungen der Oberfläche zu besorgen sind, die den vorbeugenden Schutz baulicher Anlagen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter erforderlich machen, hat der Bauherr bei der Errichtung, Erweiterung oder wesentlichen Veränderung einer baulichen Anlage auf*

*Grund eines entsprechenden Verlangens des Unternehmers den zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die Oberfläche durch Anpassung von Lage, Stellung oder Konstruktion der baulichen Anlage Rechnung zu tragen.*

*(6) Die zuständigen Behörden erteilen dem Unternehmer für das von ihm bezeichnete Gebiet Auskunft über alle Anträge auf Erteilung einer baurechtlichen Genehmigung oder Zustimmung oder eine diese einschliessende Genehmigung.*

BBergG § 111 Sicherungsmaßnahmen

*(1) Soweit ein vorbeugender Schutz durch Maßnahmen nach § 110 nicht ausreicht, sind bauliche Anlagen mit den zur Sicherung gegen Bergschäden jeweils erforderlichen zusätzlichen baulichen Vorkehrungen (Sicherungsmaßnahmen) auf Grund eines entsprechenden Verlangens des Unternehmers zu errichten. Die Sicherungsmaßnahmen richten sich nach Art und Umfang der zu erwartenden Bodenverformungen und nach Bauart, Größe, Form und Bergschadensempfindlichkeit der baulichen Anlage. Satz 1 und 2 gilt bei einer Erweiterung oder wesentlichen Veränderung baulicher Anlagen entsprechend.*

*(2) Die Aufwendungen für Sicherungsmaßnahmen hat der Unternehmer zu tragen. Ist der Bauherr seiner Verpflichtung nach § 110 Abs. 1 ganz oder teilweise nicht nachgekommen, so trägt er den auf seinem Unterlassen beruhenden Teil der Aufwendungen für Sicherungsmaßnahmen.*

*(3) § 110 Abs. 2, 4 und 5 gilt entsprechend.*

BBergG § 112 Verlust des Ersatzanspruchs

*Werden bauliche Anlagen unter Verstoß gegen § 110 oder § 111 errichtet, erweitert oder wesentlich verändert, so ist ein Anspruch auf Ersatz eines Bergschadens wegen der Beschädigung dieser Anlagen und der daraus entstandenen Schäden an Personen oder Sachen ausgeschlossen, soweit der Schaden auf die Nichtbeachtung der genannten Vorschriften zurück zu führen ist. Satz 1 gilt nicht, wenn der Unternehmer seiner Pflicht zum*

*Ersatz oder zur Tragung der Aufwendungen oder zur Vorschußleistung nach § 110 Abs. 3 und 4 oder nach § 111 Abs. 2 und 3 nicht oder nur teilweise nachgekommen ist. Bei Verstössen des Bauherrn oder Unternehmers, die nicht auf Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit beruhen, gilt § 118 entsprechend.*

BBergG § 113 Bauwarnung

*(1) Ist der Schutz baulicher Anlagen vor Bergschäden nach § 110 oder § 111 nicht möglich oder stehen Nachteile oder Aufwendungen für eine Anpassung im Sinne des § 110 oder für Sicherungsmaßnahmen im Sinne des § 111 in einem unangemessenen Verhältnis zu der durch diese Maßnahmen eintretenden Verminderung des Bergschadensrisikos, so kann der Unternehmer vor der Errichtung, Erweiterung oder wesentlichen Veränderung einer baulichen Anlage eine schriftliche Bauwarnung gegenüber dem Bauherrn aussprechen. Die Bauwarnung hat Angaben über die Art der zu erwartenden bergbaulichen Beeinträchtigungen der Oberfläche, über die sich daraus ergebenden wesentlichen Einwirkungen auf die bauliche Anlage und über das Vorliegen der Voraussetzungen nach Satz 1 zu enthalten.*

*(2) Werden bauliche Anlagen entgegen der Bauwarnung errichtet, erweitert oder wesentlich verändert, ist ein Anspruch auf Ersatz eines Bergschadens wegen der Beschädigung dieser Anlagen und der daraus entstandenen Schäden an Personen oder Sachen ausgeschlossen. Satz 1 gilt nicht, wenn die Voraussetzungen für das Aussprechen der Bauwarnung nach Absatz 1 Satz 1 nicht vorgelegen haben oder die Errichtung, Erweiterung oder wesentliche Veränderung von Leitungen zur öffentlichen Versorgung oder Entsorgung unvermeidbar ist.*

*(3) Wenn ausschließlich infolge der Bauwarnung nach Absatz 1 ein Grundstück nicht bebaut oder Art oder Maß der baulichen Nutzung in der sonst zulässigen Weise nicht ausgeschöpft werden können, hat der Unternehmer Ersatz für die Minderung des Verkehrswertes des Grundstücks zu leisten. Ist es dem Eigentümer mit Rücksicht auf die Bauwarnung wirtschaftlich nicht mehr zuzumuten, das Grundstück zu behalten oder es in der bisherigen oder einer anderen zulässigen Art zu nutzen, so kann er vom Unternehmer die Übernahme des Grundstücks verlangen. In diesem*

*Fall hat der Unternehmer den Verkehrswert, den das Grundstück ohne die Bauwarnung hätte, sowie die für die Beschaffung eines Ersatzgrundstücks erforderlichen Aufwendungen zu ersetzen. Ein Anspruch nach Satz 1 besteht insoweit nicht, als Tatsachen die Annahme rechtfertigen, dass die Absicht, eine bauliche Anlage zu errichten, zu erweitern oder wesentlich zu verändern, nur erklärt wird, um einen Wertersatz zu erlangen.*

BBergG § 114 Bergschaden

*(1) Wird infolge der Ausübung einer der in § 2 Abs. 1 Nr. 1 und 2 bezeichneten Tätigkeiten oder durch eine der in § 2 Abs. 1 Nr. 3 bezeichneten Einrichtungen (Bergbaubetrieb) ein Mensch getötet oder der Körper oder die Gesundheit eines Menschen verletzt oder eine Sache beschädigt (Bergschaden), so ist für den daraus entstehenden Schaden nach den §§ 115 bis 120 Ersatz zu leisten.*

*(2) Bergschaden im Sinne des Absatzes 1 ist nicht*

1. *ein Schaden, der an im Bergbaubetrieb beschäftigten Personen oder an im Bergbaubetrieb verwendeten Sachen entsteht*
2. *ein Schaden, der an einem anderen Bergbaubetrieb oder an den dem Aufsuchungs- oder Gewinnungsrecht eines anderen unterliegenden Bodenschätzen entsteht*
3. *ein Schaden, der durch Einwirkungen entsteht, die nach § 906 des Bürgerlichen Gesetzbuchs nicht verboten werden können*
4. *ein Nachteil, der durch Planungsentscheidungen entsteht, die mit Rücksicht auf die Lagerstätte oder den Bergbaubetrieb getroffen werden und*
5. *ein unerheblicher Nachteil oder eine unerhebliche Aufwendung im Zusammenhang mit Maßnahmen der Anpassung nach § 110.*

BBergG § 120 Bergschadensvermutung

*(1) Entsteht im Einwirkungsbereich der untertägigen Aufsuchung oder Gewinnung eines Bergbaubetriebes durch Senkungen, Pressungen oder Zerrungen der Oberfläche oder durch Erdrisse ein Schaden, der seiner Art nach ein Bergschaden sein kann, so wird vermutet, dass der Schaden*

*durch diesen Bergbaubetrieb verursacht worden ist. Dies gilt nicht, wenn feststeht, dass*

1. *der Schaden durch einen offensichtlichen Baumangel oder eine baurechtswidrige Nutzung verursacht sein kann oder*
2. *die Senkungen, Pressungen, Zerrungen oder Erdrisse*
   a. *durch natürlich bedingte geologische oder hydrologische Gegebenheiten oder Veränderungen des Baugrundes oder*
   b. *von einem Dritten verursacht sein können, der, ohne Bodenschätze untertägig aufzusuchen oder zu gewinnen, im Einwirkungsbereich des Bergbaubetriebes auf die Oberfläche eingewirkt hat.*

*(2) Wer sich wegen eines Schadens an einer baulichen Anlage auf eine Bergschadensvermutung beruft, hat dem Ersatzpflichtigen auf Verlangen Einsicht in die Baugenehmigung und die dazugehörigen Unterlagen für diese bauliche Anlage sowie bei Anlagen, für die wiederkehrende Prüfungen vorgeschrieben sind, auch Einsicht in die Prüfunterlagen zu gewähren oder zu ermöglichen.*

BBergG § 125 Messungen

*(1) Die beteiligten Unternehmer haben auf ihre Kosten auf Verlangen und unter Aufsicht der zuständigen Behörde die Messungen durchführen zu lassen, die zur Erleichterung der Feststellung von Art und Umfang zu erwartender und zur Beobachtung eingetretener Einwirkungen des Bergbaus auf die Oberfläche erforderlich sind. Die Ergebnisse der Messungen sind unverzüglich bei der zuständigen Behörde einzureichen. Für die Einsicht in die Ergebnisse gilt § 63 Abs. 4 entsprechend.*

*(2) Messungen nach Absatz 1 können nur für Gebiete verlangt werden, in denen Beeinträchtigungen der Oberfläche durch Bergbaubetriebe mit Auswirkungen auf bauliche Anlagen eingetreten oder zu erwarten sind, wenn die Messungen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter von Bedeutung sein können.*

*(3) Die Eigentümer und sonstigen Nutzungsberechtigten haben, soweit dies zur Durchführung der Messungen nach Absatz 1 erforderlich ist, das Betreten ihrer Grundstücke und das Anbringen von Messmarken zu dul-*

*den. § 39 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 und Absatz 2 Nr. 2 gilt entsprechend. Für dabei entstehende Schäden haben die beteiligten Unternehmer eine angemessene Entschädigung an Geld zu leisten.*

*(4) Das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit wird ermächtigt, durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Vorschriften zu erlassen über*

1. *die nach Absatz 1 im einzelnen durchzuführenden Messungen und die Anforderungen, denen sie zur Erreichung der in Absatz 1 bezeichneten Zwecke genügen müssen,*
2. *die Überwachung der Durchführung von Messungen im Sinne des Absatzes 1,*
3. *die Anforderungen an die Voraussetzungen, die nach Absatz 2 an die Gebiete gestellt werden, für die Messungen verlangt werden können.*

*In der Rechtsverordnung kann die entsprechende Anwendung des § 70 Abs. 1 bis 3 vorgeschrieben und bei der Bestimmung von Anforderungen im Sinne des Satzes 1 Nr. 1 auf Bekanntmachungen sachverständiger Stellen unter Angabe der Fundstelle verwiesen werden.*

Nach dem Bundesberggesetz ist demnach der Schutz baulicher Anlagen gegen Bergschäden Aufgabe des Bergbaubetreibenden (Unternehmer). Dieser hat durch entsprechende Maßnahmen sicherzustellen, dass durch eventuell eintretende Schäden aufgrund bergbaulicher Einwirkungen das Leben und die Gesundheit Dritter nicht gefährdet wird.

### 9.2.2 Richtlinien

Im Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen Ausgabe A 16. Jahrgang Nr. 127 vom 8. Oktober 1963 wurde der Runderlass des Ministers für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten vom 10.9.1963 zu dem Thema „Bauliche Sicherungsmaßnahmen in Bergsenkungsgebieten“ veröffentlicht [MLW,1963].

In der Anlage des Runderlasses werden die vom Fachnormenausschuss für Bauwesen (Arbeitsgruppe für Einheitliche Technische Baubestimmungen) in Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachkreisen aufgestellten *Richtlinien für die Ausführung von*

*Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus* in der Fassung April 1953 aufgeführt, in denen Grundlagen zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit und des Umfanges von baulichen Sicherungsmaßnahmen in Bergsenkungsgebieten behandelt werden. Diese Richtlinien gelten im Wesentlichen für den Flöz- und Lagerbau, besonders den Steinkohlenbergbau. Sie können aber auch bei anderen Bergbauarten angewendet werden, wenn hierbei die Bewegungen im Gebirge in ähnlicher Weise vor sich gehen.

Die Beachtung dieser Richtlinien ist in gleicher Weise von Vorteil für den Bauherrn und den Bergbautreibenden. Nach der derzeitigen Rechtslage kann der Bergbautreibende aber frei entscheiden, ob er diese Richtlinien befolgen oder ihre Empfehlungen in einzelnen über- oder unterschreiten will.

Im Rahmen dieser Richtlinien werden Empfehlungen über die bei bergbaulichen Einwirkungen zu treffenden Lastannahmen ausgesprochen. Dies sind im Einzelnen:

- Kräfte aus Schiefstellungen
- *Ansatz von Horizontallasten*
- Biegekräfte
- *Vorgabe von Krümmungshalbmesser für Sattel- und für Muldenlagen*
- Waagerechte Zerrungs- und Pressungskräfte
- *Vorgabe von Reibungskräften an der Unterseite der Gründungskörper und Belastung aus Erddruck*

Darüber hinaus werden vorbeugende bauliche Sicherungsmaßnahmen beschrieben, deren Notwendigkeit und Umfang sich nach

- der Größe und Art der zu erwartenden Bodenverformung,
- der Bauart, Größe, Form und Empfindlichkeit des geplanten Bauwerks
- und der Wirtschaftlichkeit

richten. Durch diese Maßnahmen muss die Standsicherheit und Betriebssicherheit ausreichend gewährleistet sein.

Bei der Wahl der vorbeugenden baulichen Maßnahmen werden 3 Sicherungsstufen unterschieden, von denen die Stufen 1 und 2 Teilsicherungen sind, bei denen Berg-

schäden nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden können. Für den Grad der Bergschädensicherung gilt nachfolgende Einstufung:

| | |
|---|---|
| Sicherungsstufe 1 | Sicherung von Bauwerken in Gebieten mit bergbaulichen Einwirkungen in Form von vorbeugenden Maßnahmen |
| Sicherungsstufe 2 | Erhöhte Sicherung für Bauwerke durch weitere zusätzliche bauliche Maßnahmen und Anordnung von waagerecht oder lotrecht Fugen. Ausbildung von nachstellbaren Auflagern. |
| Sicherungsstufe 3 (Vollsicherung) | Schutz eines Bauwerks vor jeglicher schädlicher Verformung infolge bergbaulicher Einwirkungen. Die Vollsicherung kommt nur für solche Bauwerke in Betracht, die sich aufgrund ihrer Bauart für die Vollsicherung besonders eignen. Bei der Vollsicherung werden in Abhängigkeit von Grundrissabmessungen und Grundrissform zwischen Einfächenlagerung, Zweiflächenlagerung und Dreipunktlagerung sowie einer Unterteilung eines Bauwerkes durch Fugen oder Gelenke in einzelne vollgesicherte Abschnitte mit den oben geschilderten Lagerarten unterschieden. |

Weiterhin werden **Allgemeine Gesichtspunkte** für die Anordnung und Ausbildung der Bauwerke in Gebieten mit bergbaulichen Einwirkungen behandelt. Es werden Empfehlungen zur Vermeidung von Bauschäden bzgl. Standort, Planung, Gründung, Bauart und Baustoffe, baulicher Ausbildung und Ausgleich der Bewegungen des Baugrundes durch das Bauwerk ausgesprochen. Diese allgemeinen Hinweise werden ergänzt durch **Besondere Richtlinien** für Bauten der einzelnen Sicherheitsstufen.

Im letzten Abschnitt werden Aussagen über die zulässigen Beanspruchungen der Baustoffe gemacht. Für die wichtigsten im Bauwesen verwendeten Materialien werden die bei bergbaulichen Einwirkungen zul. Spannung festgelegt.

### 9.2.3 Technische Normen und Regelwerke

Neben dem Bundesberggesetz und dem nordrhein-westfälischen Runderlass des Ministers für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten von 1963 gibt es keine weiteren technischen Normen und Regelwerke, die sich mit der Sicherheit von Gebäuden und baulichen Anlagen bei Einwirkungen aus bergbaulicher Tätigkeit befassen.

## 9.3 Stand der Forschung

Theoretische Überlegungen auf der Grundlage der Elastizitätstheorie sowie experimentelle Untersuchungen zum Einfluss bergbaulicher Einwirkungen auf Bauwerksfundamente und Versuchskörper sind Gegenstand einer Vielzahl von Veröffentlichungen.

### 9.3.1 Bergbauliche Baugrundverkürzungen

Der Forschungsstand zu bergbaulichen Baugrundverkürzungen wird im Folgenden stichpunktartig aufgelistet.

- K.W. Mautner und O. Luetgens 1920-1922
  Formulierung des Erdwiderstands als $E_p$ als maximale horizontale Belastung von lotrechten Wänden (wurde in die Richtlinien [MLW, 1963] übernommen) [Mautner u. Luetgens, 1920 u. 1922]

- E.N. Bielajev Polen 1960
  Ermittlung der Erddruckbeanspruchung unter Berücksichtigung der Grundrissabmessungen der Gebäude [Bielajev, 1960]

- R.A. Mullier, H.K. Snitko UdSSR 1966
  Berücksichtigung des aktiven Erddrucks $E_a$ in der Formel für Erddruck
  Vorschlag zur Ermittlung des Grenzwertes der Wandverformung [Mullier u. Snitko, 1966]

- F. Wasilkowski, H. Przibylla Polen 1950-1966
  Neuer Ansatz zur Ermittlung der Belastung von Bauwerken infolge bergbaulicher Einwirkungen; Berücksichtigung der elastoplastischen Eigenschaften des Boden und des Zeitfaktors der Veränderung der bergbaulichen Einwirkungen (Modellversuche) [Wasilkowski, 1950, 1955, 1966]

  Theorie zur Bestimmung von horizontalen Wandbelastungen infolge bergbaubedingter Baugrundverkürzungen [Przibylla, 1963]

- W.M. Varlaskin UdSSR 1965
  Herleitung einer Formel für den passiven Erddruck unter Einbeziehung der Ergebnisse von in situ Messungen [Varlaskin, 1965]

- J. Sliwa, T. Cisek Polen 1974
  Erweiterung des Modells von Bielajew und Mullier durch Einbeziehung des Erdruhedrucks [Sliwa u. Cisek 1974]

- W. Szerner Polen 1972
  Vorschlag einer nichtlinearen Steigerung des Erddrucks infolge bergbaulicher Verkürzungen in Abhängigkeit der Baugrunderschiebung s (Näherungsgleichung) [Szerner, 1972]

- D. Lippert, H. Schmidt-Schleicher 1991
  Forschungsvorhaben der DSK AG zur Bestimmung der durch Baugrundverkürzung erhöhten Erddruckbelastung auf Bauwerke [Lippert u. Schmidt-Schleicher, 1991]

### 9.3.2 Bergbauliche Baugrundlängungen

Zu dem Thema bergbaulicher Baugrundlängungen sind u.a. folgende Forschungsbeiträge erschienen.

- K.W. Mautner 1920-1948
  Theorie zum Einfluss bergbaulicher Längungen auf Bauwerke
  Annahme: Belastung der Fundamentsohlen durch Reibungs- und Haftungskräfte [Mautner, 1948]

- F. Wasilkowski Polen 1954
  Abminderung der Ansätze von Mautner aufgrund von Beobachtungen [Wasilkowski, 1954]

- D. Lippert, H. Schmidt-Schleicher 1983
  Entwicklung von Regeln zur wirklichkeitsnahen Erfassung von Kräften infolge Längungseinwirkungen zur Bemessung von Bauwerken [Lippert u. Schmidt-Schleicher, 1983]

## 9.3.3 Diskussion und Vergleich der Forschungsergebnisse

### 9.3.3.1 Bergbauliche Baugrundverkürzungen

Die aufgeführten Forschungsbeiträge beinhalten sowohl empirische als auch mathematisch – aus theoretischen Überlegungen und Ansätzen – abgeleitete Abhängigkeiten von Verformungsgrößen (Baugrundverschiebung) und Erddruckanstieg. Alle Arbeiten bestätigen den passiven Erddruck als Grenzwert maximaler Erddruckbeanspruchung.

Die den empirisch und theoretischen Ableitungen zur Ermittlung des Erddrucks infolge bergbaulicher Verkürzung zugrundeliegenden Steifemoduli sind im Regelfall im Labor ermittelte Werte mit relativ großen Bandbreiten.

### 9.3.3.2 Bergbauliche Baugrundlängungen

Die aufgezeigten Forschungsergebnisse weisen Ansätze für Beanspruchungen eines Bauwerks aus, die zusätzlich zur Größe der Längung durch die nachfolgenden Haupteinflüsse beschrieben werden:

- Reibungswinkel und Kohäsion des Bodens
- Baugrundsteifigkeit
- Volumenänderung des Baugrunds
- Bauwerkssteifigkeit
- Fundamentpressungen unter dem Bauwerk und Verteilung der Pressung
- Bauwerksabmessungen und Einbindetiefe

Die Forschungsergebnisse belegen, dass für den Fall bergbaulicher Längungen die in den Richtlinien aus dem Jahre 1963 für die Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus empfohlene Bemessungsgrundlage sehr konservativ ist.

#### 9.3.3.3 Unstetigkeiten

Die Ursachenerforschung von Unstetigkeiten, die in der Regel regionaltypisch sind, befindet sich noch in den Anfängen. Es gibt bisher kein Verfahren, das unter Berücksichtigung entsprechender Einflussgrößen – die dazu notwendigerweise bekannt sein müssten – eine rechnerische Ermittlung der Lage, der Erstreckung und des Ausmaßes von Unstetigkeiten erlaubt.

## 9.4 Maßnahmen gegen das Wirksamwerden von Bergsenkungen - Stand der Technik

Eine umfassende Darstellung der möglichen Sicherungsmaßnahmen von Bauwerken – hierunter sind auch, wie vor ausgeführt, verfahrenstechnische Anlagen zu verstehen – gegen Einwirkungen des Bergbaus findet sich im Grundbautaschenbuch Teil 3 Abschnitt 3.9. Gründungen in Bergbaugebieten [Smoltczyk, 2001].

### 9.4.1 Arten der Sicherung

Art und Umfang der Sicherungsmaßnahmen richten sich nach Art und Größe der Bodenverformungen, nach Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit des Bauwerks sowie nach Bedeutung und Empfindlichkeit der Bauwerksnutzung und damit nicht zuletzt nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Zunächst muss geprüft werden, ob die durch die Art und Nutzung bedingte Bauwerkskonstruktion den zu erwartenden Bodenverformungen folgen kann.
Hierbei unterscheidet man nach:

- Biegesteifen Bauwerken, die in ihrer Form erhalten bleiben; es treten nur Verformungen im Rahmen der noch aufnehmbaren Spannungen auf,

- Biegeweichen Bauwerken, die ohne Überbeanspruchung der Bauwerkskonstruktion den Verformungen des Baugrundes folgen.

Weiters ist zu klären, ob die vorgegebene Bauwerkskonstruktion und die Nutzung des Gebäudes es zulassen bzw. verlangen, die Sicherungsmaßnahmen nach

- dem Widerstandsprinzip, wobei alle durch die Bodenbewegungen verursachten Kräfte vom Bauwerk aufgenommen werden oder

- dem Ausweichprinzip, wobei das Bauwerk die Bodenbewegungen mitmacht und dabei keine oder nur geringe, d.h. zulässige Beanspruchungen erfährt,

festzulegen.

Je nach Forderung an die Nutzung des Bauwerks im Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeitsberechnung kann gewählt werden entweder

- eine Vollsicherung, bei der als höchste Sicherungsstufe die Bauwerkskonstruktion i.a. so steif ausgelegt wird, dass beliebige Bodenbewegungen lediglich Formänderungen innerhalb der elastischen Grenzen der Baustoffe hervorrufen und durch Nachrichtung (Anheben) die Wiederherstellung der ursprünglichen Lage erreicht werden kann, oder

- eine Teilsicherung, bei der zumeist Maßnahmen nur gegen eine maßgebliche Bodenbewegung i. allg. gegen Längenänderungen mit ausreichender Standsicherheit ergriffen, weitere Schäden allerdings toleriert und nach Schadenseintritt wieder instand gesetzt werden.

Bauwerke, die den Einwirkungen des Bergbaus unterliegen, sind in getrennter statischer Berechnung für den Lastfall Bergbaueinwirkungen zu untersuchen und zu bemessen. Grundlage hierfür bilden die *Richtlinien für die Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus*. Im Allgemeinen wird hier im Hinblick auf die Tragfähigkeit eine höhere Ausnutzung der mechanischen Werkstoffeigenschaften, in Ausnahmefällen sogar deren volle Ausnutzung zugelassen. Hierüber ist jedoch unter Berücksichtigung der Gebrauchsfähigkeit des Bauwerks und seiner Konstruktion in jedem Einzelfall zu entscheiden.

So verlangen bewegungsempfindliche Konstruktionen oder Baudenkmäler eine andere Auslegung in statisch konstruktiver Hinsicht unter Beachtung von Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit als Neubauten mit modernen Werkstoffen.

Im Bereich von verfahrenstechnischen Anlagen ist eine Vollsicherung anzustreben. Bei Bodenbewegungen ab einer bestimmten Größe sind Prüfungen vorzunehmen und bei festgestellten Verformungen an Werkstoffen relevanter Komponenten diese zu verwerfen.

### 9.4.2 Maßnahmen gegen Schieflagen

Wenn keine genauen Angaben über die möglichen zu erwartenden Schieflagen vorliegen, sollten die Bauteile neben den sonst wirkenden Kräften auch für beliebig gerichtete waagerechte Kräfte bemessen werden, deren Größe 1% aller über dem betrachteten Querschnitt angreifenden Vertikallasten beträgt.

Bei Überschreiten der für die Nutzung des Bauwerks noch zulässigen Schieflage sind die Auflager nachzurichten. Am besten gelingt dies bei der Dreipunktlagerung (statisch bestimmte Lagerung). Sonst sind bei biegesteifen Bauwerken unter den Fundamentrost mehrere Pressenkammern vorzusehen.

Diese Vollsicherung kann auch bei biegeweichen Bauwerken erreicht werden, wenn die Stützen nachstellbar gemacht werden. Das erfordert eine statisch bestimmte Konstruktion, für die eine Stahlskelettkonstruktion vorteilhaft ist.

### 9.4.3 Maßnahmen gegen Baugrundkrümmungen

Nach [MLW, 1963] soll allgemein für Sattellagen ein Krümmungsradius von R=2.000 m und für Muldenlagen von R=5.000 m angenommen werden, wenn nicht nach besonderen Angaben mit geringeren Krümmungsradien gerechnet werden muss (nach Angaben der DSK unterschreiten die tatsächlich auftretenden Krümmungshalbmesser nicht die Größe von R=10.000 m). Statisch bestimmte Bauwerkskonstruktionen bzw. Bauwerke mit geringer Steifigkeit sollten grundsätzlich angestrebt werden, wenn die Nutzung des Gebäudes es zulässt. Je geringer die Bauwerkssteifigkeit, umso geringer die Beanspruchungen (Ausweichprinzip).

Zunächst ist zu klären, ob die zu erwartende Krümmung für die geplante Bauwerkskonstruktion unschädlich ist. Einen Anhalt hierfür gibt Bild 15 für eine Muldenlage. Danach liegt bei normalen Hochbauten –Ziegelmauerwerk mit Stahlbetondecke oder Stahlbetonskelettbauten – die zul. Durchbiegung im Mittel bei ds=L/800, was einem noch zul. Krümmungsradius von R=100*L (bei üblichen Bauwerksabmessungen R=1.000...3.000 m) entspricht. Bei Stahlskelettbauten (Industriebauten) sind die zulässigen Durchbiegungen noch größer bzw. der zul. Krümmungsradius noch geringer. Es muss aber darauf geachtet werden, dass bei statisch bestimmten Systemen bzw. nachgiebiger Konstruktion die Auflagerbedingungen für Zwischendecken und Dacheindeckungen ausreichend gewahrt bleiben. Bauwerke reagieren auf eine Sattellage zumeist empfindlicher, so dass der zul. Krümmungsradius deutlich größer sein muss als für die Muldenlage.

Bei biegesteifen Bauwerken sind alle Lagerungsmöglichkeiten (Krag- und Hohllagen der Bauwerksgründung) zu untersuchen. Zur Ermittlung der Spannungsverteilung bieten sich das Bettungsmodulverfahren bzw. das Steifemodulverfahren an.

Je unnachgiebiger der Baugrund ist, desto eher entstehen Spannungskonzentrationen und größere Hohl- und Kraglagen. Durch Anordnung von Polsterschichten und durch die Wahl kleiner Fundamentflächen mit hohen Sohldrücken können die Lagerungsbedingungen vergleichmäßigt bzw. verbessert und die Hohl- und Kraglagen vermindert werden.

Besonders kritisch sind Sattellagen und die damit verbundenen Kraglagen bei Flächengründungen: Um einen besseren Setzungsausgleich zu schaffen, sollte nach Möglichkeit von einer Flächengründung abgegangen werden.

Eine Verminderung der Beanspruchung steifer Bauwerke kann auch durch Anordnung von Fugen erreicht werden. Die Fugen sind jedoch so breit zu wählen, dass bei der konkaven Krümmung (Muldenlage) keine Kräfte übertragen werden bzw. bei der konvexen Krümmung (Sattellage) eine ausreichende Überdeckungsbreite der Fugenverkleidung vorhanden ist. Die erforderliche Fugenbreite gegenüber Längenänderungen ist noch gesondert zu betrachten.

### 9.4.4 Maßnahmen gegen Baugrundlängungen (Zerrungen)

Die mit den Längungen verbundenen Relativverschiebungen zwischen Baugrund und Bauwerksgründung rufen horizontal gerichtete Scherkräfte (Zerrungen) hervor, die – wenn Gleitschichten fehlen – nahezu unabhängig von der Größe der Verschiebungen, jedoch wesentlich abhängig von der Auflast und der Scherfestigkeit des Bodens sind.

Bei geringen Sohldrücken treten in bindigen Böden wegen des Kohäsionsanteiles größere Scherkräfte als in nichtbindigen Böden, z.B. in Sanden, auf. Für diesen Fall sollte bindiger Boden in geringer Schichtdicke durch Sand ersetzt werden, so dass innerhalb der Sohlfuge nur Reibungskräfte wirken. Weiterhin ist zu beachten, dass bei sehr kleinen Auflasten – wie bei Stützmauern und Fahrbahnbefestigungen – durch den Gefügewiderstand der Reibungskoeffizient u.U. wesentlich größer sein kann als bei größeren Auflasten.

Die Reibungskräfte können durch Fugen wesentlich vermindert werden. Die Fugen müßen jedoch so weit gewählt werden, dass alle Längenänderungen (Längung und Kürzung) unter Beachtung der zeitlichen Folge und auch die Krümmungen (Sattel- und Muldenlage) keinen Kontakt (einwandfreie Raumfugen) zwischen den einzelnen Baukörpern hervorrufen.

Bei Stahlskelettkonstruktionen kann durch Pendelstützen die Übertragung von Reaktionskräften vermindert bzw. aufgehoben werden.

Bei Streifen- und Flächengründungen muss geprüft werden, ob unter Berücksichtigung der Scherfestigkeit des Untergrundes die möglichen Reibungskräfte vom Bauwerk aufgenommen werden oder ob eine zusätzliche Bewehrung evtl. mit Gleitschicht erforderlich ist.

Für Längungen bis 2 ‰ erübrigt sich dann eine zusätzliche Zerrsicherung durch die Bewehrung, wenn die Tragfähigkeit des Bewehrungsstahles voll ausgenutzt wird. Kann dies im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit nicht zugelassen werden, sind Bauwerke mit großer Bewegungsempfindlichkeit vorhanden oder treten größere Längungen als 2 ‰ auf, ist die Anordnung von Gleitschichten zur Verminderung der Zerrkräfte zweckmäßig und üblich. Anstelle der früher verwendeten Gleitmittel Graphit oder Molykote werden heute häufiger zweilagige Folien mit Silikonfett-Schmierung gewählt. Kostengünstig sind zweilagige unbesandete Bitumenbahnen, die sich

bei hohen Drücken und bei geringen Verformungsgeschwindigkeiten in der Gleitfuge viskoelastisch verhalten.

### 9.4.5 Maßnahmen gegen Baugrundkürzungen (Pressungen)

Bei einer Kürzung der Gründungsfläche entstehen neben Reibungskräften (Druckkräfte) in den Sohlflächen auch Erdwiderstandskräfte vor den Stirnflächen. Der volle Erdwiderstand ist wegen der dafür erforderlichen Relativverschiebung i.allg. nicht zu erwarten. Aufgrund von Messungen erfordert der Maximalwert des Erdwiderstandes Wandverschiebungen in der Größenordnung von 1/10 h für locker gelagerte bzw. weiche Böden bis 1/50 h für dicht gelagerte bzw. halbfeste Böden (Wandhöhe h).

Mit Hilfe von FEM-Berechnungen für unterschiedliche Einwirkungsgrößen von bergbaulichen Kürzungen von 2 bis 20 ‰ konnte gezeigt werden, dass die ermittelten Horizontalspannungen erst bei 10 ‰ Kürzung die Größe des Erdwiderstandes bei einem Stand und Ausschaltung der Wandreibung erreichen.

Der Erdwiderstand vor den im Boden einbindenden Bauwerkswänden kann durch Polsterschichten zum Teil erheblich vermindert werden. Je nach Zusammendrückbarkeit werden die bei einer Kürzung zu erwartenden Relativverschiebungen zwischen Bauwerk und Baugrund innerhalb der Polsterschichten „aufgezehrt". Weichplastischer Ton, Kesselasche oder Schlacke, Schlackenwolle und vor allem Torf wurden hierfür verwendet. Für eine große, gleichmäßige und vom Einbauverfahren unabhängige Zusammendrückbarkeit bieten sich Polsterungen durch Schaumstoffplatten aus Polystyrol oder Polyethylen an. Es empfiehlt sich in jedem Fall, wegen der Vielfalt der zur Verfügung stehenden Materialien das Drucksetzungs- und Zeitsetzungsverhalten durch Versuche zu bestimmen.

Zu beachten ist in einigen Fällen auch das zeitliche Verformungsverhalten des Schaumstoffs, da z. B. bei Polystyrol die Verformung erst mit einer zeitlichen Verzögerung eintritt.

### 9.4.6 Maßnahmen bei konzentrierten Bodenbewegungen

Können keine Änderungen des Abbaues, z.B. Versatzbau, Änderung des Abbauzuschnitts usw., vorgenommen werden, ist eine Stabilisierung des Bodens, verbunden mit einem Massenausgleich, in der Regel dann unumgänglich, wenn Bauwerke, öffentliche Verkehrsflächen u. ä. hiervon betroffen sind. Hierzu kann der Baugrund mit Zement und Dämmer verfüllt bzw. auch unter hohem Druck verpresst (Feststoff-Einpresstechnik, FEP) werden. Ziel ist es in erster Linie, eine ausreichende Druck- und Scherfestigkeit des Baugrundes wieder herzustellen und – wenn möglich – eine Vorspannung zu erzeugen. Gegebenenfalls können hierdurch auch Bauwerksbewegungen stillgesetzt bzw. zurückgestellt werden.

Daneben ist auch eine konstruktive Sicherung der Bauwerke durch Einbau von Hydraulikpressen und/oder Federkörpern möglich, für die das Bauwerk eine ausreichende Steifigkeit besitzen oder erhalten muss.

Grundsätzlich gilt, dass bei derartigen konzentrierten Bodenbewegungen zusätzlich zu den o. g. Maßnahmen eine kontinuierliche Beobachtung der Boden-Bauwerks-Bewegungen notwendig wird, z. B. durch das Anlegen von Messlinien quer zu den Störungszonen außerhalb des Bauwerkes und Kontrolle der Bauwerksbewegungen auch an den Pressen bzw. Federkörpern.

### 9.4.7 Möglichkeiten der Nachrüstung baulicher Anlagen

Die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten vorbeugenden Maßnahmen gegen das Wirksamwerden von Bergsenkungen auf Bauwerke und Anlagen sind größtenteils auch anwendbar für die nachträgliche Ertüchtigung baulicher Anlagen. In **Tabelle 9.4.7.1** sind mögliche bauliche Maßnahmen für eine bestehende Bebauung bei überwiegend vertikalen Bodenbewegungen, in **Tabelle 9.4.7.2** die entsprechenden Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen bei horizontalen Bodenbewegungen aufgelistet. Prinzipiell kann differenziert werden zwischen Sicherungsmaßnahmen am Bauwerk und Maßnahmen, die außerhalb des Bauwerks zur Sicherung der baulichen Anlage durchgeführt werden können. Darüber hinaus ist zu unterscheiden zwischen möglichen Sicherungs- und Sanierungsarbeiten, welche eine Konservierung des Bauwerks bewirken und solchen, die den Zustand des Bauwerks vor Eintreten der Bergbau bedingten Bodenbewegungen wieder herstellen.

Wie oben dargelegt, gibt es bei Bergsenkungen für bestehende bauliche Anlagen abhängig von der Art der Einwirkung vielfältige Möglichkeiten der Nachrüstung. Bodenbewegungen infolge Bergbaus in größerer Teufe sind, wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt, ein kontinuierlicher Prozess und kein plötzlich eintretendes Ereignis. Demzufolge ist in der Regel bei auftretenden Bodenbewegungen ausreichend Zeit vorhanden für die Durchführung vorbeugender Maßnahmen zur Erhaltung der Standsicherheit bzw. Gebrauchstauglichkeit einer baulichen Anlage. Die Erfordernis von Sicherungsmaßnahmen ist dann gegeben, wenn sich abzeichnet dass diese Bodenbewegungen eine tolerierbare Größe überschreiten. Der Zeitpunkt der Durchführung entsprechender Maßnahmen ist i.A. durch intensive Beobachtung des Baugrunds (Monitoring) und entsprechende Vorausberechnungen recht gut bestimmbar.

Bei verfahrenstechnischen Anlagen sind entsprechende Maßnahmen, z.B. durch adäquate Gründungen bzw. Fundamentierung, bereits bei Planungsbeginn solcher Anlagen auf der Basis der prognostizierten Senkungen zu berücksichtigen. Dies muss auch Eingang in die Genehmigungsantragsunterlagen finden.

**Tabelle 9.4.7.1**: Bauliche Maßnahmen für bestehende Bebauung bei überwiegend vertikalen Bewegungen

| **Bodenbewegung** | **Sicherungsmaßnahmen** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **am Bauwerk** | | **außerhalb des Bauwerks** | |
| | **Konservierung** | **Rückstellung** | **Konservierung** | **Rückstellung** |
| **Schieflage** | **Ausgleichsmaßnahmen:**<br>- Fußboden (z.B. Estrich, Kunstboden)<br>- Wand (z.B. Putz, Verkleidung)<br>- Decke (z.B. Abhängung) | **Nachgründung und Hebung wie bei Setzungsunterschied bzw. Krümmung** | **Baugrundstabilisierung und Bauwerksstabilisierung** | **Baugrundstabilisierung und Hebung** |
| **Senkungsunterschied** | **Nachgründung:**<br>- Bohrpfähle<br>- Verpreßpfähle<br>- Hochdruckinjektion<br>- Bodenvermörtelung<br>- Unterfangungen | **Nachgründung und Hebung durch:**<br>- Hydraulikpressen<br>- Druckkissen<br>- Federkörper<br>- Lasthalteanlagen | **Baugrundstabilisierung:**<br>- Injektionen<br>- Hochdruckinjektion als Feststoffinjektion und Bodenvermörtelung<br>**Bauwerksstabilisierung:**<br>- Bohrpfähle<br>- Verpreßpfähle<br>- Hochdruckinjektion<br>- Bodenvermörtelung<br>- Unterfangungen | **Baugrundstabilisierung und Hebung durch:**<br>- Hochdruckinjektion |
| **Krümmung** | wie vor<br>**Fugenanordnung** | wie vor<br>**Bauwerksaussteifung** | wie vor | wie vor |

**Tabelle 9.4.7.2**: Bauliche Maßnahmen für bestehende Bebauung bei überwiegend horizontale Bewegungen

| Boden-bewegung | Sicherungsmaßnahmen | | | |
|---|---|---|---|---|
| | am Bauwerk | | außerhalb des Bauwerks | |
| | Konservierung | Rückstellung | Konservierung | Rückstellung |
| **Längungen (Zerrungen)** | **Nachgründung:**<br>- Zugplatte<br>- Zugbalken<br>- Zugbalkenrost<br>**Verankerung:**<br>- Zuganker<br>- Zugglieder<br>**Rißinjektion:** | **Verankerung und Verspannung durch:**<br>- Zuganker<br>- Zugglieder | **Bauwerksstabilisierung:**<br>- Zugbalken und Zugbalkenrost (z.B. Microtunnelbauweise | **Bauwerksstabilisierung und Verschiebung in der Gründungsfuge durch:**<br>- Gleitlagerung<br>- Hydraulikpressen |
| **Kürzungen (Pressungen)** | **Nachgründung:**<br>- Druckplatte<br>- Druckbalken<br>- Druckbalkenrost<br>**Wandverstärkungen mit Aussteifungen**<br>**Ausbildung von Bewegungsfugen zwischen einzelnen Bauteilen** | **Sanierung und Sicherung erdberührter Bauteile durch:**<br>- Rißinjektionen<br>- Wandverschiebung<br>- Wanderneuerung<br>- Polsterung außen | **Bauwerksabschiermung:**<br>- Polsterbohrung<br>- Polstergräben<br>**Bauwerksstabilisierung:**<br>- Druckbalken und Druckbalkenrost (z.B. Microtunnelbauweise<br>**Ausbildung von Bewegungsfugen zwischen einzelnen Bauwerken** | **Entspannungsmaßnahmen durch:**<br>- Bohrungen<br>- Gräben<br>- Fugen zwischen einzelnen Bauwerken |

## 9.5 Ergebnisbewertung

Im Gegensatz zu den stochastischen Gefahrenquellen Hochwasser, Erdbeben und Sturm sind Bergsenkungen ein stetiger, von Menschen induzierter Prozess. Die mit dem Abbau eines Flözes in großer Teufe verbundenen Auswirkungen an der Oberfläche sind im Allgemeinen recht gut vorhersehbar. Auf der Grundlage einer realitätsnahen Beschreibung der oberflächennahen Bodenbewegungen lassen sich die möglichen Einwirkungen auf Anlagen und Gebäude – wie weiter oben dargelegt – recht gut eingrenzen. Eine Ausnahme bilden hier die sogenannten Erdstufen, welche bei geologischen Störungen im Baugrund auftreten können.

### 9.5.1 Allgemeines zu den rechtlichen Regelungen

Das 3. Kapitel „Bergschaden“ des Bundesberggesetzes BBergG vom 13. August 1980, zuletzt geändert im August 2002, regelt den Umgang mit den Einwirkungen des Bergbaus auf Gebäude und Anlagen an der Oberfläche. Demzufolge sind für den Fall eines Bergschadens Bergbautreibender (Unternehmer) und Bergbauberechtigter ersatzpflichtig. Der vorbeugende Schutz baulicher Anlagen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter ist sowohl Aufgabe des

Bergbautreibenden als auch des von den bergbaulichen Einwirkungen betroffenen Betreibers einer Anlage.

Bei neu zu errichtenden Anlagen hat der Bauherr aufgrund eines entsprechenden Verlangens des Bergbautreibenden den zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die Oberfläche durch Anpassung von Lage, Stellung und Konstruktion Rechnung zu tragen (Anpassungspflicht). Soweit ein vorbeugender Schutz durch derartige Maßnahmen nicht ausreicht, sind auf Verlangen des Bergbautreibenden zusätzliche bauliche Vorkehrungen zur Sicherung gegen Bergschäden zu treffen. Ist der Schutz baulicher Anlagen vor Bergschäden nicht möglich oder stehen die Sicherungsmaßnahmen in einem unangemessenen Verhältnis zu der durch diese Maßnahmen eintretenden Verminderung des Bergschadensrisikos, so kann der Bergbautreibende eine schriftliche Bauwarnung aussprechen.

In besonderen Fällen kann die Landesregierung durch Rechtsverordnung Baubeschränkungsgebiete festsetzen, in denen die Errichtung, Erweiterung oder Nutzungsänderung baulicher Anlagen nur mit Zustimmung der Bergaufsicht erfolgen darf.

Die Auslegung einer baulichen Anlage zur schadensfreien Aufnahme von Einwirkung aus Bergsenkungen liegt einzig in der Verantwortung des Bauherrn und des Bergbautreibenden. Nach der derzeit gültigen Rechtslage ist eine Kontrolle bzw. Überprüfung entsprechender Sicherheitsvorkehrungen durch eine unabhängige staatliche Einrichtung (Behörde) nicht vorgesehen.

Zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter kann die Bergbehörde nach § 125 BBergG lediglich Messungen anordnen, die zur Erleichterung der Feststellung von Art und Umfang zu erwartender und zur Beobachtung eingetretener Einwirkungen des Bergbaus auf die Oberfläche erforderlich sind.

Darüber hinaus kann nach einem Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes aus dem Jahre 1989 (Moers-Kapellen-Urteil) die Bergbehörde die Aufsuchung oder Gewinnung von Bodenschätzen beschränken oder sogar untersagen, wenn nur dadurch unverhältnismäßige Beeinträchtigungen des Oberflächeneigentums zu vermeiden sind. Das Bergamt legt hierbei den Kreis der an einem bergrechtlichen Zulassungsverfahren zu beteiligenden Oberflächeneigentümer fest und prüft, ob zur Vermeidung unverhältnismäßiger Beeinträchtigungen des Oberflächeneigentums ggf. bergschadensmindernde Maßnahmen zu ergreifen sind, beispielsweise durch Vorgabe der Abbaugeschwindigkeit.

Das BbergG enthält lediglich Regelungen für den Fall der Errichtung, der Erweiterung oder der wesentlichen Verränderung einer baulichen Anlage. Der Fall, dass eine bereits bestehende bauliche Anlage Einwirkungen aus bergbauinduzierten Bodenbewegungen ausgesetzt wird, ist im BbergG nicht explizit behandelt.

Für bauliche Anlagen in Bergsenkungsgebieten sind nachfolgende Fallunterscheidungen möglich.

#### 9.5.1.1 Geplanter Abbau unter einer bestehenden Industrieanlage

Durch den öffentlichen Rahmenbetriebsplan erhalten die Anlagenbetreiber von dem geplanten Abbau Kenntnis. Der Bergbautreibende wird von der unteren Bauaufsichtsbehörde über die für die betroffenen Gebiete vorhandenen Bebauungspläne informiert. Darüber hinaus erhält der Bergbautreibende von der Bergaufsicht eine Liste gefährdeter Betriebe für die Bereiche, in denen nach Erkenntnissen der Bergbehörde mit Auswirkungen an der Oberfläche zu rechnen ist.

Bergbautreibender und Anlagenbetreiber setzen sich zusammen und legen Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Anlage fest. Unter Umständen ordnet das Bergamt zusätzlich Messungen zur ständigen Beobachtung der Auswirkungen des Bergbaus auf der betroffenen Anlage an. Im Rahmen von Sonderbetriebsplänen kann die Bergbehörde unter Umständen Einfluss auf Abbaugeschwindigkeit eines Flözes nehmen, um Auswirkungen auf die Oberfläche zu begrenzen.

#### 9.5.1.2 Errichtung einer neuen Industrieanlage bei aktivem Abbau

Im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens wird der Bauherr eines neu zu errichtenden Betriebes von der unteren Bauaufsicht verpflichtet, sich vor Baubeginn mit dem Bergbautreibenden in Verbindung zu setzen. Der Bergbautreibende stellt dem Bauherrn dann entweder eine Unbedenklichkeitsbescheinigung aus oder aber er verpflichtet ihn gegebenenfalls, zusätzliche Sicherungsmaßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Konstruktion durchzuführen. Entsprechende Sicherheitsmaßnahmen beschränken sich nicht nur unmittelbar auf den Zeitraum des Abbaus, sondern können auch noch Jahre nach Beendigung

des Bergbaus erforderlich sein, da aufgrund der mit dem Bergbau zusammenhängenden veränderten Wasserhaltung in der Region Bodenhebungen nicht auszuschließen sind.

### 9.5.2 Zusammenfassung

Der Nachweis der Standsicherheit baulicher Anlagen ist Aufgabe des Bauherrn. Die erforderlichen Statischen Nachweise sind in der Regel von einer unabhängigen Institution zu überprüfen (4-Augen-Prinzip). Für den Fall bergbaulicher Einwirkungen weicht der Gesetzgeber zurzeit von diesem Grundsatz einer unabhängigen Kontrolle ab. Die Standsicherheit einer baulichen Anlage bei bergbaulichen Einwirkungen betrifft ausschließlich den Bergbautreibenden und den Betreiber der Anlage. Diese legen in gegenseitigem Einvernehmen Art und Umfang der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen fest. Die Kontrollfunktion der zuständigen Bergämter beschränkt sich im Wesentlichen auf eine unabhängige Überprüfung der Vorgaben des Bergbautreibenden bezüglich der zu erwartenden Beeinträchtigungen der Oberfläche (Größe der Einwirkung).

Im Verfahrensablauf der Genehmigung der Rahmenbetriebspläne zum Kohleabbau als auch zur Genehmigung einer Anlage nach dem BImSchG muss die zukünftige Einflussnahme durch den Bergbau abgehandelt werden. Bei der Erstellung und Prüfung von Sicherheitsberichten für Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung wird dieser Aspekt nach allen vorliegenden Erkenntnissen der Verfasser dieses Berichtes bislang nicht in der gebotenen Weise berücksichtigt. Dieses Defizit gilt gleichermaßen für Betriebsbereiche, welche der StörfallV mit den Grundpflichten unterliegen. Nach Aussagen der Bergbaubehörden als auch der Deutschen Steinkohle AG wird jedoch zur Zeit unter Betriebsbereichen kein Abbau vorgenommen. Dies soll auch bei den lfd. Rahmenbetriebsplänen so berücksichtigt werden.

Die Senkungen über alten vormaligen Bergbaugebieten in NRW sind weitgehend abgeklungen, so dass Gefährdungen kaum gegeben sind. Im Saarland oder im Bereich der Kaligruben kann die Situation durchaus anders sein.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass eine erforderliche Abstimmung zwischen Behörden, Kohleabbaugesellschaften und Betreibern von Betriebsbereichen sowie Prüfingenieuren der Statik nicht immer einwandfrei gegeben ist.

Im Rahmen von Inspektionen nach § 16 der StörfV wird dem Punkt Bergsenkungen nach allen vorliegenden Erkenntnissen kaum Rechnung getragen. Empfehlungen hierzu werden in der Anlage III „Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Durchführung von Inspektionen von Betriebsbereichen“ gegeben.

Jedem Sicherheitsbericht sollte die Prüfbescheinigung des Sachverständigen für Baustatik beigelegt werden. (Bescheinigung nach § 12 Abs. 1 SV-VO über die Prüfung der Standsicherheit.) Hierzu werden Hinweise in Anlage II „Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Prüfung eines Sicherheitsberichtes (SiB) gem. Störfall-Verordnung in Bezug auf die Gefahrensquellen Hochwasser, Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen“ gegeben.

## 9.6 Hochwasserschutzanlagen (Flussdeiche)

Die Hochwasserschutzanlagen an Flüssen bestehen hauptsächlich aus Flussdeichen und ihren ggf. vorhandenen Einbauten, wie Sieldurchlässe, Schleusen, Deichtore sowie aus Mauern und neuerdings u.U. ergänzt durch mobile Schutzelemente. Im nachfolgenden Abschnitt werden die Besonderheiten bei Flussdeichen unter bergbaulichen Einwirkungen behandelt. Grundlage der Ausführungen ist der Beitrag von K. Kast und J. Brauns „Auswirkungen des Bergbaus auf Hochwasserschutzanlagen am Niederrhein“ veröffentlicht im Sonderheft 2/03: *„Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement“* erschienen im Ernst & Sohn Verlag.

### 9.6.1 Einwirkungen

Die bergbaulichen Einwirkungen im Allgemeinen wurden bereits in Abschnitt 9.1 eingehend behandelt. Bei Flussdeichen ist deren Zusammenwirken mit dem Untergrund zu betrachten. Deiche stehen in der Regel auf tiefreichend durchlässigem Untergrund, wobei das unmittelbare "Deichlager" oft durch eine mehr oder weniger dicke Flutlehmdecke gebildet wird. Der Untergrund darunter wird meist durch körnige, also sandig-kiesige Schichten gebildet. Im Übrigen bestehen die Deichkörper selbst – jedenfalls nach den heute geltenden Entwurfsprinzipien – aus dichtenden, stützenden und dränierenden Querschnittselementen (**Abbildung 9.6.1.1**).

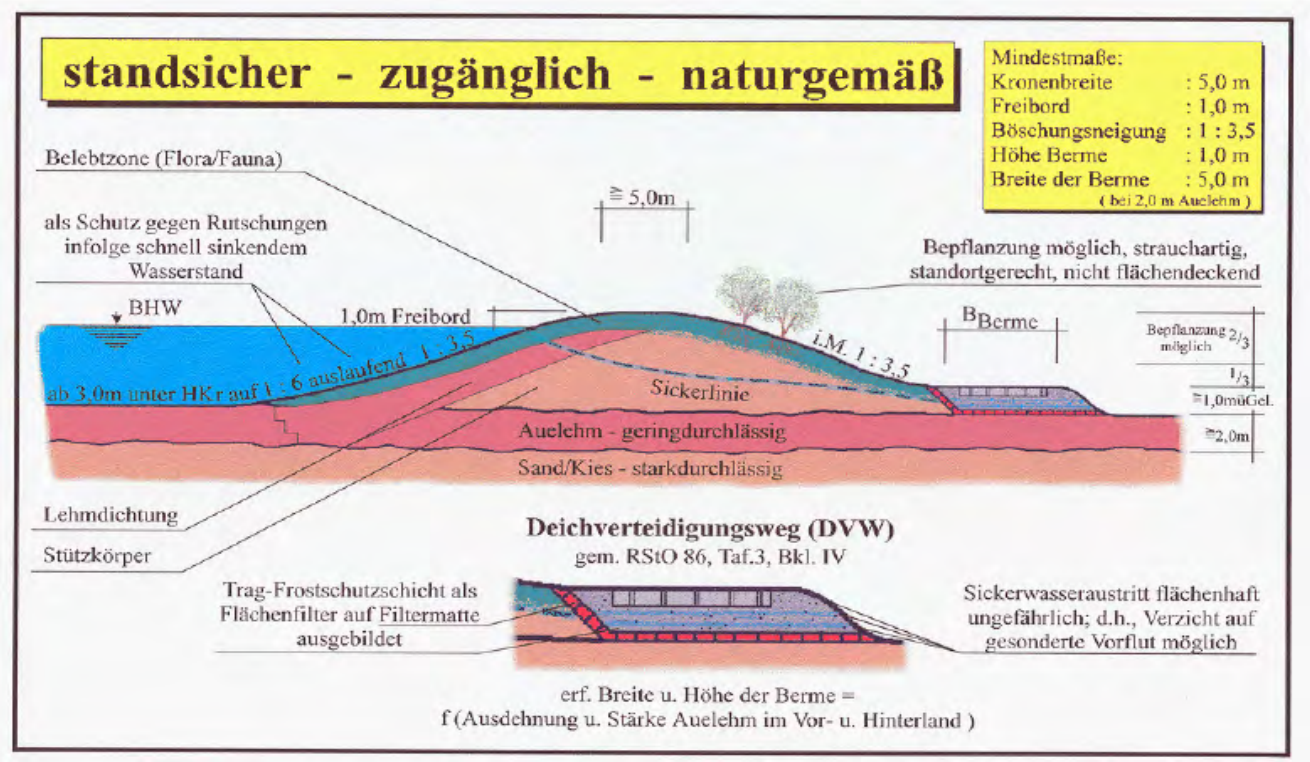



**Abbildung 9.6.1.1:** Deichregelprofil, Schema

Von den bergbaulichen Einwirkungen auf den Deichuntergrund und auf den Deichkörper sind verständlicherweise die Zerrungen besonders relevant, da hieraus Risse, in extremen Sonderfällen auch Spalten und Erdstufen entstehen können.

## 9.6.2 Stand der relevanten Vorschriften

Ergänzend zu den im Abschnitt 9.2 aufgeführten Rechtsvorschriften und Regelwerken ist der Neubau, die Sanierung, die Unterhaltung, Überwachung und Verteidigung von Flussdeichen ohne Tideeinfluss in DIN 19712 Flussdeiche (November 1997) geregelt . Einziger Bezug im Normenwerk zum Thema Bergsenkungen findet sich im Absatz 16.4 **Aufhöhung, Verstärkung, Verbreiterung**

> *Bei kleineren Wasserläufen in Bergsenkungsgebieten kann einer unerwünschten Verbreiterung des absinkenden Gewässerquerschnitts durch Aufhöhung der wasserseitigen Böschung entgegengewirkt werden*

Ansonsten wird die Thematik Bergsenkungen in DIN 19 712 nicht behandelt.

## 9.6.3 Maßnahmen zur Deichsicherung in Bergsenkungsgebieten

### 9.6.3.1 Planungstechnische Maßnahmen

Die vorausschauenden Planungen und Maßnahmen zum Schutz von Flussdeichen in Bergsenkungsgebieten sind beim Hochwasserschutz von zentraler Bedeutung. Übliche Zeithorizonte für Planungen und Maßnahmen (vor Abbaubeginn) mit jeweils unterschiedlichem Detaillierungsgrad sind nachstehend aufgeführt.

| Jahre | Planung und Maßnahmen |
|---|---|
| 20 | Machbarkeitsstudien zur Sicherstellung des Hochwasserschutzes |
| 10 | vorausschauende abbaubedingte Hochwasserschutzplanungen |
| 5 | bergbaubedingte Deichsanierungsplanungen |
| 2 | Umsetzung der erforderlichen Baumaßnahmen |
| 1 | Detailanpassungen der Hochwasserschutzelemente und der Überwachungsmaßnahmen an laufende bergbauliche Sonderbetriebspläne |

Maßgebend für die Planungen ist der amtlich vorgegebene Bemessungswasserabfluss, aus dem ortsspezifisch der Bemessungswasserstand abgeleitet wird.

Während bergbaulicher Aktivitäten werden die prognostizierten bergbaulich hervorgerufenen Verformungen entlang der Deichstrecken messtechnisch und durch Inaugenscheinnahme verfolgt. Aufgrund der Prognosen sowie der Messungen und Beobachtungen können insbesondere die Bereiche, in denen größere Zerrungen auftreten, die u. U. mit unstetigen Deformationen verbunden sein können, identifiziert werden.

Zur messtechnischen Verfolgung der Bewegungen dienen in erster Linie Vermarkungen, die vorwiegend auf der Deichkrone in regelmäßigen Abständen installiert sind und mit denen nicht nur die Bergsenkungen, sondern auch die Längenänderungen in Richtung Deichachse verfolgt werden. Zur visuellen Beobachtung der Zerrungen bzw. Stauchungen kann man auf die bei modernen Deichen vorhandenen Wegbefestigungen auf der Deichkrone bzw. auf dem Deichverteidigungsweg zurückgreifen, der heute bei allen Ertüchtigungsmaßnahmen vorgesehen wird. Messungen werden in angemessenem Rhythmus durchgeführt, ausgewertet und den Hoch-

wasserschutzpflichtigen sowie der für den Hochwasserschutz zuständigen Aufsichtsbehörde berichtet. Die sich aus den markscheiderischen Prognosen ergebenden Zonen mit zu erwartenden verstärkten Zerrungen (> 2 ‰) werden besonders überwacht.

### 9.6.3.2 Schäden und Instandsetzung

Offene Risse in Deichkörpern und im unmittelbaren Vor- und Hinterland von Deichen sind selbstverständlich unerwünscht, da sie im Falle eines anschließend auflaufenden Hochwassers eine Wasserwegigkeit mit entsprechender Erosionsgefahr darstellen. Die begrenzte Festigkeit der Erdstoffe führt in der Regel dazu, dass offen klaffende Spalten nur auf eine gewisse Tiefe frei stehen können. Unterhalb bestimmter Tiefe ist die Auflast aus dem Bodengewicht so groß, dass eine senkrechte Erdwand ohne Stützung nicht standfest ist, ein Klaffungsriss sich also von selbst schließt.

Ein rein körniger, nicht kohäsiver Erdstoff kann senkrecht überhaupt nicht frei stehen. Es ist dazu eine Kohäsionsfestigkeit erforderlich, die nur sogenannte bindige oder sonst wie verbackene Materialien aufweisen. Im feuchten Zustand weisen rein körnige Böden allerdings eine gewisse sogenannte "scheinbare" Kohäsion auf (diese durch Kapillarwirkung bedingte Kohäsion verschwindet bekanntlich bei Austrocknung des Bodens – z.B. eines Sandes – und bei Flutung mit Wasser). Für einen mittelplastischen Boden ergeben sich beispielsweise Spalten mit einer freien Standhöhe von ca. 3 m, die sich durch bautechnische Reparaturmaßnahmen gut beherrschen lassen.

Höherplastische Erdstoffe, soweit sie für Deichdichtungen eingesetzt werden, ermöglichen freistehende Spalten von einigen Metern Tiefe. Auch die zu Deichbauzwecken im Ruhrraum eingesetzten Waschbergematerialien, die mittels Verbacken mit der Zeit Kohäsion entwickeln, können bei entsprechender Zerrung auf gewisse Tiefen klaffende Risse entwickeln.

Die unter den genannten Voraussetzungen in beteiligten Bodenzonen mit Kohäsion unter ausgeprägten bergbaulichen Zerrungen in Oberflächennähe möglichen klaffenden Risse können für Deiche prinzipiell in zweierlei Weise schädlich werden:

- **Risse in Querrichtung durch den Deich infolge Zerrungen längs zur Deichachse**

  Im Hochwasserfall können Wasserdurchtritte erfolgen, die ab gewisser Rissweite zu progressiven Erosionen und somit zur Gefahr werden können.

- **Risse parallel zur Deichachse in den bindigen (Flutlehm-) Deckschichten beim wasserseitigen und luftseitigen Deichfuß infolge Zerrungen quer zur Deichachse**

  Solche Risse erlauben im Hochwasserfall einen ungemilderten Zutritt von Stauwasser in den durchlässigen Untergrund und einen Austritt dieses Wassers luftseitig des Deiches zur Geländeoberfläche; hierdurch wird der Sickerweg zum Abbau des Staupotentials im körnigen, u.U. erosionsanfälligen (Feinsand-) Untergrund verkürzt, wodurch Untergrunderosionen (Piping) begünstigt werden.

Auftretende klaffende Risse werden fortlaufend erhoben, dokumentiert, im Hinblick auf die bergbauliche Unterbauung bewertet und vor der nächsten Hochwasserperiode fachmännisch unter Begleitung des Fachamtes der Aufsichtsbehörde repariert. Dies gilt sowohl für – in Bezug auf die Deichachse – Längs- und Querrisse im Deichkörper, sowie für Rissbildungen im Vor- und Hinterland im Nahbereich der Hochwasserschutzeinrichtung (z.B. in einem 50 m-Streifen). Dies erfolgt in der Regel durch Aufgrabung und Beseitigung des Schadens (**Abbildung 9.6.3.2.1**).

**Abbildung 9.6.3.2.1:** Risse als Folge größerer bergbaulich bedingter Zerrungen (links) und ihre Beseitigung durch Aufgrabung und Wiederbefüllung (rechts).

In Bereichen, für die aus den markscheiderischen Prognosen bedeutsame Längszerrungen (etwa > 3‰) für Zeiten ausgewiesen werden, die in Hochwasserzeiträume fallen, und in denen der stützende Teile des Deichkörpers aus kohäsivem bzw. verbackenem Material geschüttet ist, werden vielfach im Kronenbereich vorsorglich Zerrungssicherungselemente eingebaut. Die dabei erforderliche Schutztiefe richtet sich nach der Beanspruchungshöhe (prognostiziertes Zerrungsmaß) sowie der Geometrie und dem Aufbau des Deichkörpers (Deichhöhe, Kronenbreite, Stützkörpermaterial, Dränzonen). Als zuverlässige Zerrungssicherungselemente kommen z. B. Stahlspundwände in Frage, deren Eignung für die vorliegende und ähnliche Problemstellungen durch entsprechende Belastungsversuche ausreichend untersucht ist.

### 9.6.4 Zusammenfassung

Nach Aussage aller am Hochwasserschutz Beteiligten (Bergbauplanung, Bergamt, Fachamt für Hochwasserschutz und die Aufsichts- und Genehmigungsbehörden sowie beigezogenen Planern und Fachgutachtern) hat sich in der Vergangenheit das System mit betriebsplangemäßer Senkungsprognose, Anpassungsplanung und -ausführung unter den Beteiligten eingespielt und bewährt.

## 9.7 Ausgewählte Modellregion Chemiepark Marl

### 9.7.1 Auswahlkriterien

Im Rahmen des Vorhabens war in einer Modellregion zu untersuchen und darzulegen, welche Auswirkungen sich durch Bergsenkungen bei Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordung ergeben und mit welchen technischen Maßnahmen die Betreiber solcher Anlagen diese in einem sicheren Zustand halten und betreiben.

Desweiteren war zu ermitteln, mit welchen Maßnahmen Bergwerksbetreiber mögliche sich negativ auswirkende Senkungen in Industriegebieten reduzieren bzw. verhindern und welche Vereinbarungen diesbezüglich zwischen Übertage- und Untertagebetreibern – unter Überwachung und Einbeziehung der zuständigen staatlichen Stellen, i.d.R. den Bergämtern – getroffen werden.

Die Überprüfung der Datenlage in Nordrhein-Westfalen ergab, dass eine übergreifende Kartierung oder Rasterdarlegung hinsichtlich der Steinkohle-Abbaugebiete nach den genehmigten sowie beantragten Rahmenbetriebsplänen mit sich überschneidenden Obertrage-Betriebsbereichen nach der StörfallV und Anlagen nach § 19g WHG nicht vorhanden war.

Die Deutsche Steinkohle AG stellte freundlicherweise das Kartenmaterial der Rahmenbetriebspläne mit den prognostizierten Senkungslinien zur Verfügung (**Abbildungen 9.7.1.1** und **9.7.1.2**). Da von annähernd allen Anlagen mit sicherheitsrelevanten Stoffen in Nordrhein-Westfalen Daten über Stoffe und Stoffmengen sowie Rechts- und Hochwerte nach dem Gauss-/Krügerkoordinatensystem beim Landesamt für Umweltschutz zur Verfügung standen, wurde eine Auswahl von ca. 180 Betriebsbereichen, welche unter die StörfallV fallen, getroffen. Entsprechend diesen Daten wurde anschließend nach unseren Vorgaben von der Abteilung „Bergbau und

Energie in NRW“ der Bezirksregierung Arnsberg (ehemaliges Landesoberbergamt NRW) ein Raster der Betriebsbereiche gemäß StörfallV über eine Karte mit Eintragungen der Bergbaugebiete und Darstellung der einzelnen zugeordneten Senkungsnullränder gelegt (**Abbildung 9.7.1.3** und **9.7.1.4**). Es zeigte sich, dass nur eine geringe Anzahl von Betriebsbereichen innerhalb der tatsächlichen bzw. vorgesehenen Abbaugebiete liegen.

Die Namen der betroffenen Betreiber konnten aus rechtlichen Gründen nicht in diese Karten übernommen werden, so dass die Eintragungen mit den zugehörigen ATs-Nummern erfolgten.

Aufgrund seiner vielfältigen Anlagenstrukturen wurde als geeignetste Modellregion der Chemiepark Marl (Chemiepark/Ats Nrn. u.a. 152577 und 563967) im Bergbaugebiet Auguste Victoria / Blumenthal ausgewählt.

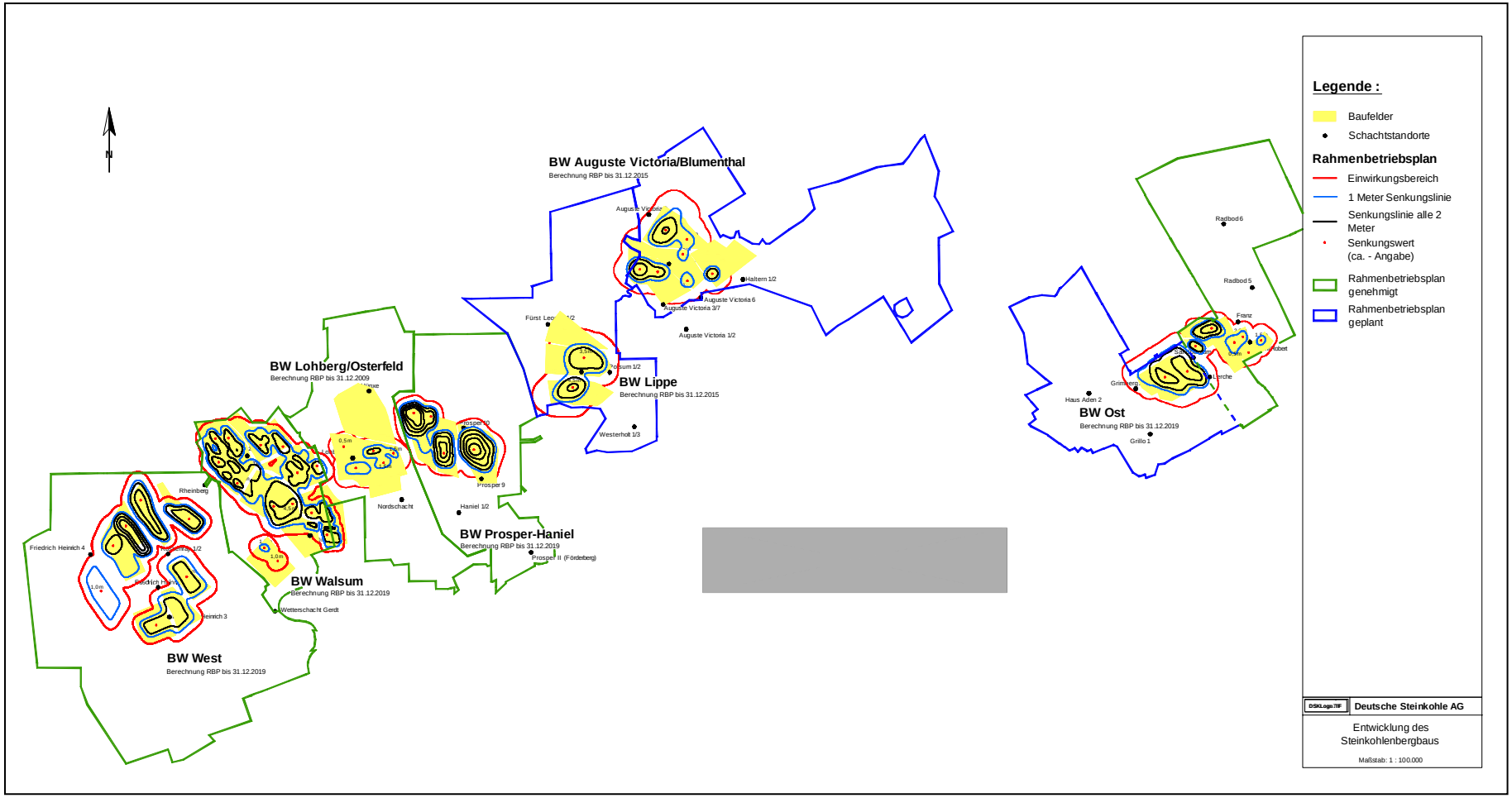



**Abbildung 9.7.1.1**: Durch die Entwicklung des Steinkohlenbergbaus erwartete Bergsenkungen

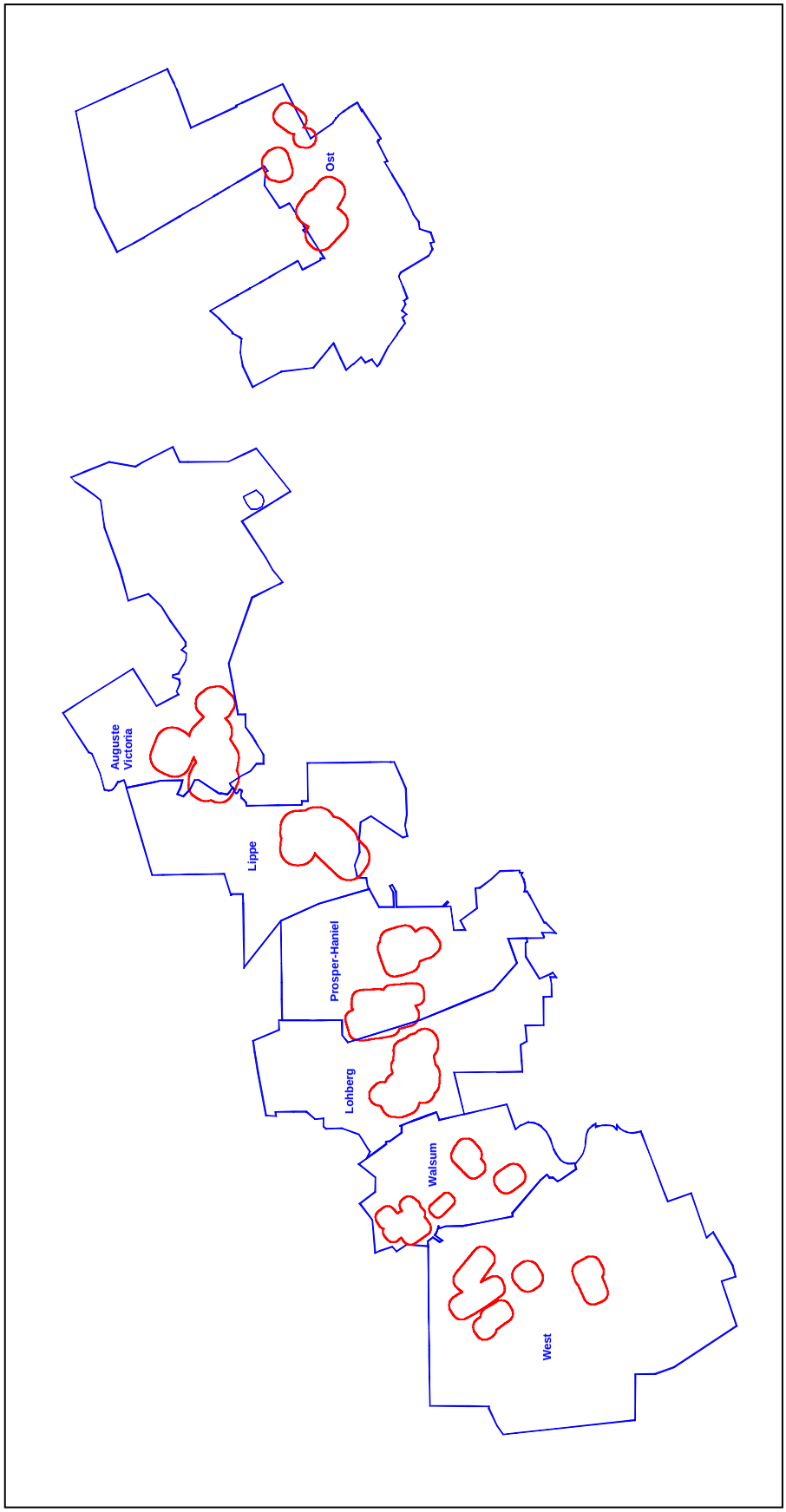



**Abbildung 9.7.1.2**: Senkungslinien gemäß Rahmenbetriebsplänen

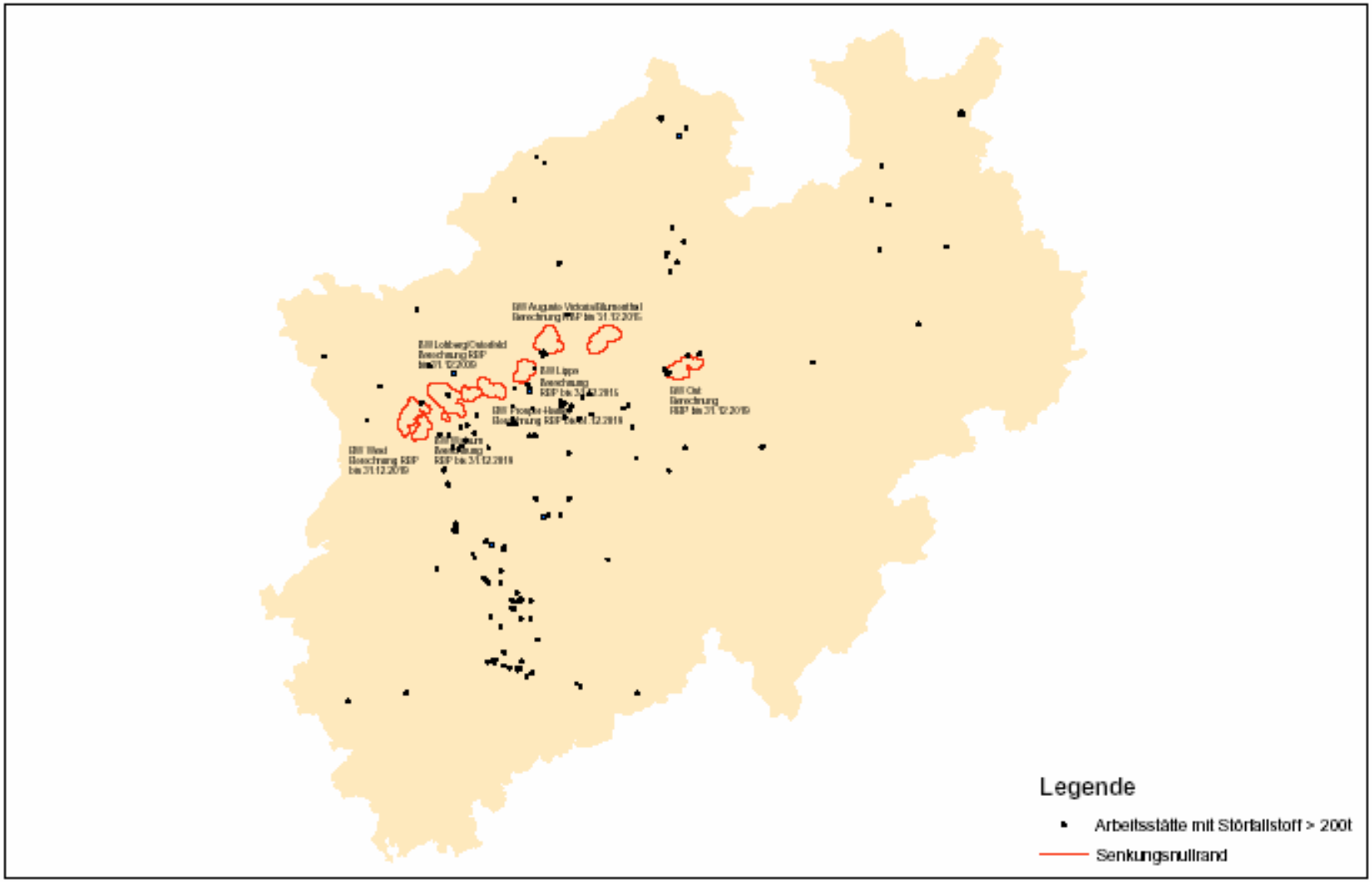



**Abbildung 9.7.1.3**: Betriebsbereiche mit Stoffen nach StörfallV > 200 t und Senkungsnullrändern (I)

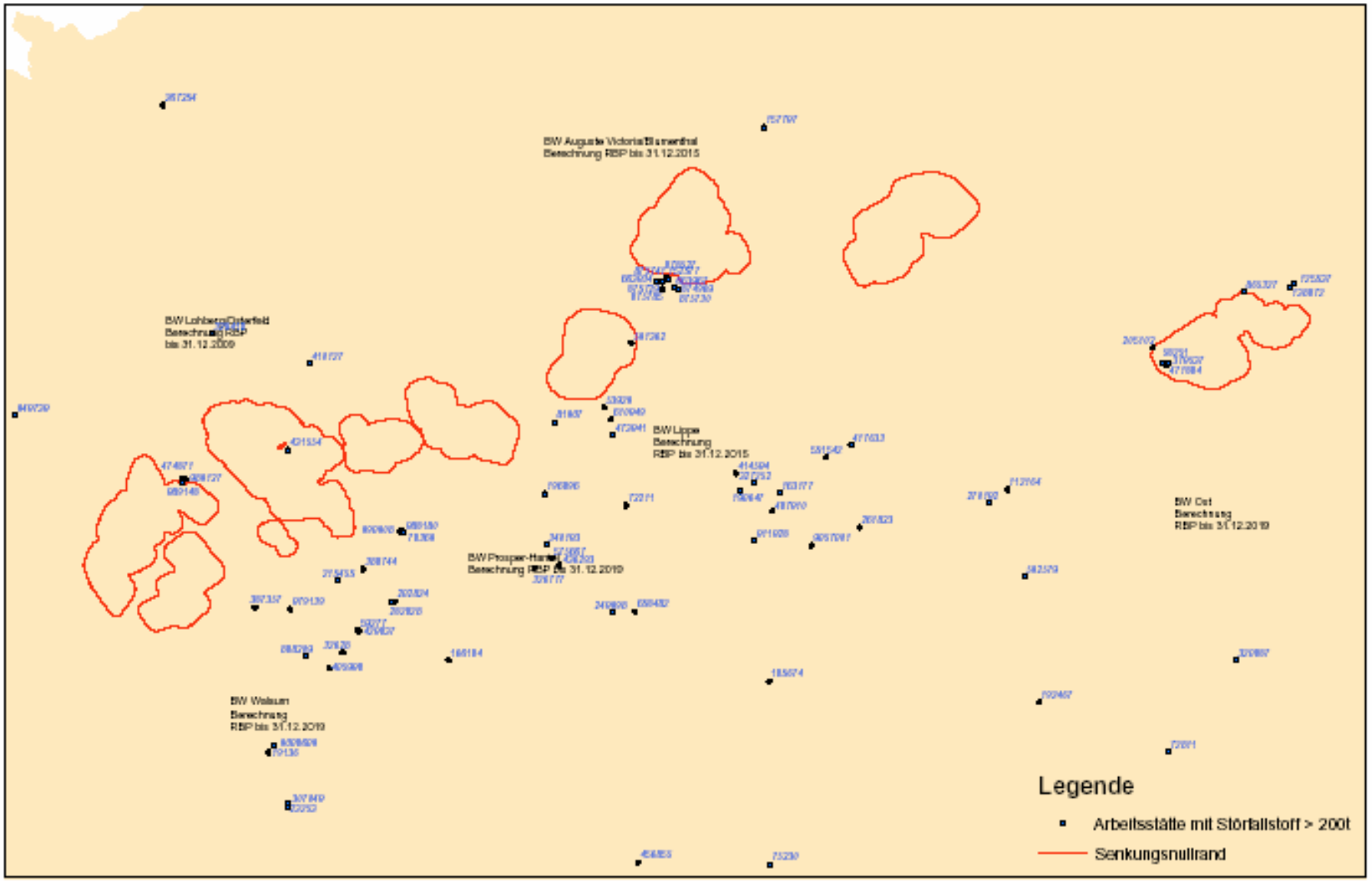



**Abbildung 9.7.1.4**: Betriebsbereiche mit Stoffen nach StörfallV > 200 t und Senkungsnullrändern (II)

## 9.7.2 Der Chemiepark Marl

Der Chemiepark Marl im nördlichen Ruhrgebiet ist Sitz 30 verschiedener Unternehmen insbesondere einer größeren Anzahl der Degussa AG. Auf einem Areal von ca. 6,5 km² arbeiten heute rund 10.500 Menschen im Chemiepark (**Abbildungen 9.7.2.1** und **9.7.2.2**). Im Chemiepark fallen 11 Betriebsbereiche unter die erweiterten Pflichten und 1 Betriebsbereich unter die Grundpflichten der Störfall-Verordnung.

**Abbildung 9.7.2.1**: Chemiepark Marl

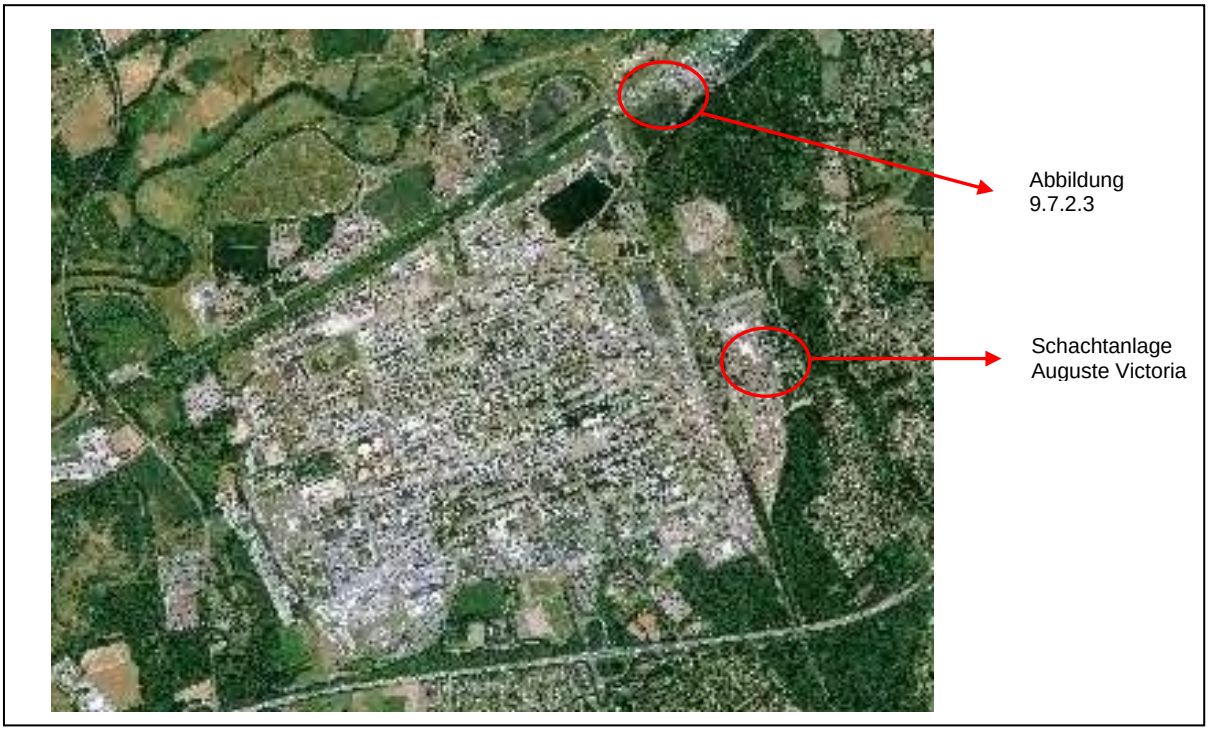



**Abbildung 9.7.2.2**: Luftbild des Chemieparks Marl

Das Areal des Chemieparks liegt in unmittelbarer Nachbarschaft des Schachtes Auguste Victoria 3/7 des Verbundbergwerks Auguste Viktoria/Blumenthal der Deutschen Steinkohle AG DSK. Als der Industriestandort Marl mit Gründung der Chemischen Werke Hüls GmbH im Jahr 1938 im nördlichen Ruhrgebiet an der Lippe auf der grünen Wiese entstand, war der Bergbau in dieser Region bereits seit ungefähr 40 Jahren aktiv. Obwohl aufgrund des damaligen Kohleabbaus keine unmittelbaren Auswirkungen auf das Werksgelände zu erwarten waren, wurden dennoch vorsorglich umfangreiche Vorkehrungen – meist in Form von konstruktiv durchgebildeten Zerrplatten – zur Aufnahme der Beanspruchungen aus möglichen Bergsenkungen getroffen.

Mit der Teufung neuer Schächte in den 60er Jahren führten die verstärkten bergbaulichen Tätigkeiten in dieser Region in den östlichen Randbereichen des Werkareals zu Bergsenkungen in einer Größenordnung von 6 – 8 m, die Mitte der 70er Jahre im Wesentlichen abgeklungen waren.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sieht ein noch nicht genehmigter Rahmenbetriebsplan den Abbau weiterer Kohleflöze in dieser Region bis zum Jahr 2015 vor. Im Zuge dieser geplanten Abbautätigkeiten sind Senkungen von bis zu 6,5 m nicht auszu-

schließen (siehe Abbildung 9.7.1.1). Entsprechend dem vorgelegten Rahmenbetriebsplan liegt der Chemiepark Marl an der Grenze des Einwirkungsbereichs.

Die Besonderheit des Standortes, die unmittelbare Nähe von Chemiepark und Bergwerk, hat schon frühzeitig zu einer Sensibilisierung des Anlagenbetreibers für das Thema Bergsenkungen beigetragen. Aus diesem Grund wurden zur Sicherung von Anlagen und Gebäuden gegen Einwirkungen aus dem Bergbau auf Grundlage der vom Fachnormenausschuss für Bauwesen aufgestellten Richtlinien für die *Ausführung von Bauten im Einflussbvereich des untertägigen Bergbaus* eigene werksinterne Standards (Hüls-Normen; VEBA-Normen) entwickelt. Diese sind für andere Gesellschaften nicht frei verfügbar.

Vor ungefähr 30 Jahren wurde eine feste Kommission ins Leben gerufen, in der mindestens einmal jährlich ein Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Anlagenbetreiber und Bergbautreibenden stattfand. In dieser Runde wurden u.a. die zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die baulichen Anlagen des Chemieparks und mögliche präventive Maßnahmen erörtert. Seitdem Anlagenbetreiber und Bergbautreibender (DSK) zu einem Konzern gehören findet ein ständiger Informationsaustausch zwischen Betreibern der Anlagen und Vertretern der DSK statt.

Es existieren Messprogramme, nach denen öffentlich bestellte Vermesser (vormals VEBA) entsprechende Untersuchungen durchführen. Im Süd-Osten des Geländes sind die Senkungen vollkommen abgeklungen. Der Nord-Osten befindet sich z.Zt. in einer Phase des Abklingens mit zu erwartenden Setzungen von < 10 cm über ein bis 3 Jahre.

Die nachfolgend aufgeführten Beispiele zeigen eine Auswahl von in der Vergangenheit durch den Betreiber der Anlage getroffenen Maßnahmen, welche die Standsicherheit sensibler Anlagenbereiche bei Einwirkungen aus Bergsenkungen (Schiefstellung, Zerrungen, Pressungen usw. ) gewährleisten sollen.

**Abbildung 9.7.2.3** und **9.7.2.4** zeigen Kugeln im Kugeltanklager II des Chemieparks Marl zur Aufnahme von Flüssiggasen. Das Kugeltanklager II befindet sich im Nordosten des Chemieparks. In diesem Bereich wurden in der Vergangenheit Bergsenkungen von bis zu 8 m festgestellt. Im vorliegenden Fall wurde zur Vermeidung einer zusätzlichen Beanspruchung der Kugelbehälter durch Kräfte infolge eingeprägter Bodenverschiebungen aus Bergsenkungen die Behälter im unteren Bereich schwimmend auf eine Schale gelegt. Durch die Trennung von Unterkonstruktion und Behälter ist sichergestellt, dass mögliche durch Bergsenkungen auftretende Krafteinwir-

kungen nur in die Unterkonstruktion eingeleitet werden. Durch diese konstruktive Maßnahme ist die Funktionsfähigkeit der Behälter sichergestellt.

**Abbildung 9.7.2.3**: Kugeltanklager mit sogenannter Eierbecherfundamentierung im Chemiepark Marl.

**Abbildung 9.7.2.4**: Kugeltanklager II des Chemieparks Marl

Bei anderen Kugelbehältern, die konventionell auf Stützen stehen, ist durch die Vorrichtung einer Hydraulik-Ringleitung die Möglichkeit einer Nachjustierung gegeben. In den Stützenfüssen fest installierte Dehnmessstreifen erfassen alle Bewegungen der Kugelbehälter. Auf der Grundlage dieser ständigen Überwachung (Monitoring) werden im Bedarfsfall an die Ringleitung Hydraulik- Stempel angeschlossen, mit denen dann einzelne Stützen gezielt angehoben werden können.

Neben diesen besonderen Sicherungsmaßnahmen gegen Einwirkungen aus Bergsenkungen sind – wie bereits erwähnt – alle baulichen Anlagen auf sogenannten Zerrplatten gegründet. Diese sind konstruktiv so ausgebildet, dass die im Boden auftretenden waagerechten Zerrungs- und Pressungskräfte von der Bodenplatte aufgenommen und nicht in die oberhalb der Zerrplatte befindliche Konstruktion eingeleitet werden. Auch bei sensiblen Neubauten im östlichen Bereich werden, obwohl die Senkungen weitgehend abgeklungen sind, stets solche Zerrplatten vorgesehen. Darüber hinaus wurde durch eine sinnvolle Fugenanordnung bei Bauwerken und durch Einbau geeigneter Kompensatoren, z.B. bei Rohrleitungssystemen, die Beanspruchung minimiert.

Für den Industriepark liegen alle erforderlichen Sicherheitsberichte (§ 29 a BImSchG geprüft) und ein Alarm- und Gefahrenabwehrplan sowie desweiteren ein spezieller Katastrophenschutzplan vor. Das im Chemiepark Marl praktizierte Sicherheitskonzept gegen Bergsenkungen hat in der Vergangenheit, wie uns vom Betreiber versichert wurde, zu keinen Standsicherheitsproblemen aufgrund von Bergsenkungen geführt.

## 9.8 Zusammenfassung

Im Kapitel 9 wurden die Einwirkungen infolge von Bodensenkungen aus untertägigem Bergbau auf Bauwerke allgemein sowie insbesondere auf Betriebsbereiche in der Bundesrepublik Deutschland erörtert. Die zu erwartenden Bodenbewegungen werden von Bergbautreibenden ermittelt, welche anschließend von den zuständigen Bergbehörden unabhängig überprüft werden. Art und Umfang der Sicherung einer baulichen Anlage gegen bergbauliche Einwirkungen werden dann im gegenseitigen Einvernehmen allein vom Bergbautreibenden und dem Betreiber einer baulichen Anlage festgelegt.

Die zu erwartenden Bodenbewegungen werden vom Bergbautreibenden ermittelt und dessen Ergebnisse werden anschließend von den zuständigen Bergbehörden unabhängig überprüft. Art und Umfang der Sicherung einer baulichen Anlage gegen bergbauliche Einwirkungen werden dann im gegenseitigen Einvernehmen vom Bergbautreibenden und dem Betreiber einer baulichen Anlage festgelegt.

# 10 Planung für Notfälle / Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

## 10.1 Vorbemerkung

In den folgenden Abschnitten wird näher auf die technischen und organisatorischen Vorbereitungen im Rahmen von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplanungen sowie behördlichen Katastrophenschutzplanungen eingegangen. Die Darlegungen basieren zum größten Teil auf den Ergebnissen dieses Forschungsprojektes. Untersuchungsgegenstand bzgl. der Notfall/Alarm- und Gefahrenabwehrplanung waren die öffentlichen, staatlichen und betreibereigenen Vorbereitungen auf das Wirksamwerden der Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm und Erdbeben.[13]

Grundsätzlich ist zunächst festzustellen, dass es im Prinzip keinen Unterschied zwischen der Planung für Notfälle und der Planung zur Alarm- und Gefahrenabwehr gibt. Dies bedeutet, dass in internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen als auch externen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen - meist als Katastrophenschutzpläne bezeichnet - die Notfallplanung allein schon aufgrund der sachlichen und fachlichen Aspekte stets integriert ist.

Eine qualifizierte Notfall- bzw. Alarm- und Gefahrenabwehrplanung gegenüber bestimmten Gefahrenquellen setzt eine Risikoanalyse voraus. Risiko kann – in diesem Zusammenhang - kurz definiert werden als das Eintreten eines Schadens unbekannter Größe zu einem unbekannten Zeitpunkt.

## 10.2 Grundlagen der Gefahrenabwehrplanung von Anlagenbetreibern

### 10.2.1 Pflichten der Betreiber nach Störfall-Verordnung

Grundlage für organisatorische Maßnahmen sind die Pflichten von Betreibern von Betriebsbereichen, die der StörfallV unterliegen, in § 3 „Allgemeine Betreiberpflich-

[13] Zur Erläuterung:

- öffentlich, d.h. freiwillige Feuerwehren, Technisches Hilfswerk, etc.
- öffentlich rechtliche, d.h. staatliche Institutionen wie Landkreise/Landratsämter, kreisfreie Städte
- staatliche, hier die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Sachsen
- betreibereigen, das sind die Betreiber der relevanten Betriebsbereiche gemäß Störfall-Verordnung bzw. Anlagen nach § 19g WHG

ten“, dem Anhang III und insbesondere § 10 „Alarm- und Gefahrenabwehrpläne“ sowie Anhang IV dieser Verordnung.

**§ 3 Allgemeine Betreiberpflichten**

(1) Der Betreiber hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern; Verpflichtungen nach anderen als immissionsschutzrechtlichen Vorschriften bleiben unberührt.

(2) Bei der Erfüllung der Pflicht nach Absatz 1 sind

1. betriebliche Gefahrenquellen,
2. umgebungsbedingte Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser, und
3. Eingriffe Unbefugter

zu berücksichtigen, es sei denn, dass diese Gefahrenquellen oder Eingriffe als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können.

(3) Über Absatz 1 hinaus sind vorbeugend Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten.

(4) Die Beschaffenheit und der Betrieb der Anlagen des Betriebsbereichs müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen.

**Anhang III, Konzept zur Verhinderung von Störfällen für Anlagen, welche unter die Grund- als auch erweiterten Pflichten fallen**

Planung für Notfälle

3.e) Festlegung und Anwendung von Verfahren zur Ermittlung vorhersehbarer Notfälle auf Grund einer systematischen Analyse und zur Erstellung, Erprobung und Überprüfung der Alarm- und Gefahrenabwehrpläne, um in Notfällen angemessen … reagieren zu können.

§ 10 Alarm- und Gefahrenabwehrpläne

(1) Vor der erstmaligen Inbetriebnahme eines Betriebsbereiches (erweiterte Pflichten) nach § 1 Abs. 1 Satz 2 hat der Betreiber

1. interne Alarm- und Gefahrenabwehrpläne zu erstellen, die die in Anhang IV aufgeführten Informationen enthalten müssen und
2. den zustandigen Behörden die für die Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erforderlichen Informationen zu übermitteln.

**Anhang IV, Alarm- und Gefahrenabwehrpläne für Anlagen, welche unter die erweiterten Pflichten fallen**

3. Für vorhersehbare Umstände oder Vorfälle, die für das Auslösen eines Störfalls ausschlaggebend sein können, in jedem Einzelfall eine Beschreibung der Maßnahmen, die zur Kontrolle dieser Umstände bzw. dieser Vorfälle sowie zur Begrenzung der Auswirkungen zu treffen sind, sowie eine Beschreibung der zur Verfügung stehenden Sicherheitsausrüstungen und Einsatzmittel.
4. …
5. Vorkehrungen zur frühzeitigen Warnung der für die Einleitung der in den externen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen vorgesehenen Maßnahmen zuständigen Behörde, Art der Informationen, die bei der ersten Meldung mitzuteilen sind, sowie Vorkehrungen zur Übermittlung von detaillierten Informationen, sobald diese verfügbar sind.
6. Vorkehrungen zur Ausbildung und Schulung des Personals in den Aufgaben, deren Wahrnehmung von ihm erwartet wird, sowie gegebenenfalls zur Koordinierung dieser Ausbildung und Schulung mit externen Notfall- und Rettungsdiensten.
7. Vorkehrungen zur Unterstützung von Abhilfemaßnahmen außerhalb des Geländes des Betriebsbereichs.

Bei allen Betreibern in den untersuchten Modellregionen wurden die Pflichten nach der Störfall-Verordnung im Zusammenhang mit der Planung für Notfälle bzw. der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung umgesetzt. Bei diesen Betriebsbereichen, die unter die erweiterten Pflichten fallen, liegen die erforderlichen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne in ausreichenden Strukturen und Inhalten vor. Die zur Einsicht vorgelegten Alarm- und Gefahrenabwehrpläne entsprachen im Aufbau und Inhalt den Anforderungen der Störfall-Verordnung und waren größtenteils entsprechend den Vorgaben der vormaligen 3. Störfall-VwV ausgerichtet. (Für Anlagen, die lediglich unter die Grundpflichten fallen, ist die Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen nach dieser Verordnung nicht vorgesehen.) Es hat sich in Sachsen-Anhalt und Sachsen gezeigt, dass während der Gefährdung durch das August-Hochwasser 2002 alle im Rahmen des Vorhabens untersuchten Betreiber die erforderlichen Maßnahmen ergriffen und aufgrund ihres richtigen Handelns mögliche Gefährdungen durch ihre Betriebsbereiche oder Anlagen vermieden haben.

### 10.2.2 Erstellung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen für Betriebsbereiche

Grundsätzlich muss sich ein Alarm- und Gefahrenabwehr- oder Notfallplan unabhängig vom auslösenden Anfangsereignis (Hochwasser, Sturm oder Erdbeben bzw. interne Störfälle) auf die ausgelösten Ereignisse, wie z.B. Freisetzung von gefährlichen Stoffen, Brände oder Explosionen, die davon betroffenen Anlagen, deren Umgebung sowie die erforderlichen Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung beziehen. Da die Anfangsereignisse unterschiedlicher Natur sein können, sollte diesem Sachverhalt in solchen Plänen separat Rechnung getragen werden. Die möglichen Folgeabläufe sollten in einem gemeinsamen übergreifenden Plan für einen Anlagenkomplex, d.h. Werksbereich bzw. Betriebsbereich oder Anlagen nach § 19g WHG, dargelegt werden. Dies bedeutet, dass auch die organisatorischen Maßnahmen zur Verhinderung oder Reduzierung von negativen Auswirkungen in einem gemeinsamen Dokument zusammenfassend abzuhandeln sind. Wo es geboten ist, muss dies mit speziellen Zuordnungen in Bezug auf die Anfangsereignisse erfolgen.

Lediglich in Einzelfällen, wie z.B. bei sehr großen Werkskomplexen mit großen Betriebsbereichen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten (Industriepark), ist es sinnvoll, einen separaten Alarm- und Gefahrenabwehrplan nur für Hochwasser, wenngleich vernetzt mit einem umfassenden Gesamtalarm- und Gefahrenabwehrplan, zu erstellen und zu nutzen.

In der Störfall-Verordnung wird in Bezug auf die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung die Forderung zur Erstellung eines internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanes (AGAP) nur für Betriebsbereiche, welche unter die erweiterten Pflichten fallen, erhoben. Die Pflicht zur Erstellung solcher Pläne für Betriebsbereiche mit Grundpflichten resultiert nur aus Anordnungen im Einzelfall. In der Regel liegt daher für solche Betriebsbereiche kein AGAP aufgrund der StörfallV vor. Hieraus resultiert auch die Schwierigkeit des Betreibers der Verpflichtung zur Übermittlung einer ausreichenden qualifizierten Information an die Behörden nachzukommen, um diese in die Lage zu versetzen, einen sachgerechten externen Alarm- und Gefahrenabwehrplan zu erstellen.

### 10.2.2.1 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung für Betriebsbereiche mit Grundpflichten gemäß der Störfall-Verordnung

Die Struktur für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung für Betriebsbereiche mit Grundpflichten gemäß der StörfallV kann wie folgt vereinfacht dargestellt werden:

§ 1, Abs. 2 Einzelfallbetrachtung durch die Behörde

↓

§ 10, Abs. 1, Nr. 1 Alarm- und Gefahrenabwehrpläne

↓

Anhang IV, Alarm- und Gefahrenabwehrpläne

---

§ 6 Abs. 3, Nr. 1 Ergänzende Anforderungen *)

§ 6, Abs. 3, Nr. 2 u. Abs. 4 Zusammenarbeit mit und Informationen an die Behörde zur Erstellung eines externen Alarm- und Gefahrenabwehrplans **)

---

§ 8, Abs. 1 Konzept zur Verhinderung von Störfällen

↓

Anhang III, Abs. 1

---

§ 8 Abs. 3 Konzept zur Verhinderung von Störfällen

↓

Anhang III, Abs. 2 und 3; Abs. 3e) Planung für Notfälle ***)

**Erläuterung**:

*) § 6, Abs. 3, Nr. 1 gilt in Bezug auf festgelegte Betriebsbereiche nach § 15 für solche, die unter die Grundpflichten oder die erweiterten Pflichten fallen, nur in der partiellen Anwendung entsprechend den in der Störfall-Verordnung für diese Betriebsbereiche genannten Anforderungen. Danach müssen durch einen Informationsaustausch nach § 6 Betriebsbereiche, die den Grundpflichten unterliegen, u.a. das Konzept zur Verhinderung von Störfällen (nicht Alarm- und Gefahrenabwehrplan) abgestimmt werden. Bei Betriebsbereichen, die den erweiterten Pflichten unterliegen, erfolgt der Informationsaustausch im Rahmen des Alarm- und Gefahrenabwehrplans.

**) Dies bedeutet aufgrund des erforderlichen Informationsgehaltes praktisch die Übermittlung einer Dokumentation in einer Ausführung, wie sie zur Erstellung eines internen Alarm- und Gefahrenabwehrplans erforderlich ist.

***) Gilt nach § 8, Abs. 3 auch für Betriebsbereiche mit Grundpflichten. Anhang III, Abs. 3 e) enthält allerdings nur die Anforderung zur Festlegung und Anwendung von Verfahren zur Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, nicht jedoch die explizite Anforderung, solche Alarm- und Gefahrenabwehrpläne zu erstellen.

Hieraus ergibt sich, dass die grundsätzliche Anforderung zur Erstellung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen für Betriebsbereiche, welche unter die Grundpflichten fallen, aus der Störfall-Verordnung nicht abgeleitet werden kann. Für diese Betriebsbereiche kann ein AGAP aufgrund einzelner Anordnung oder ein Alarmplan nach VAwS erforderlich sein.

### 10.2.2.2 Interne Alarm- und Gefahrenabwehrpläne für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten gemäß Störfall-Verordnung

Vor der erstmaligen Inbetriebnahme eines Betriebsbereichs nach § 1 Abs. 1 Satz 2 der 12. BImSchV hat der Betreiber einen internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan zu erstellen und der zuständigen Behörde die für die Erstellung von externen Alarm- und Gefahrenabwehr- bzw. Notfallplänen erforderlichen Informationen zu übermitteln. Das Ablaufschema ist in **Abbildung 10.2.2.2.1** dargestellt.

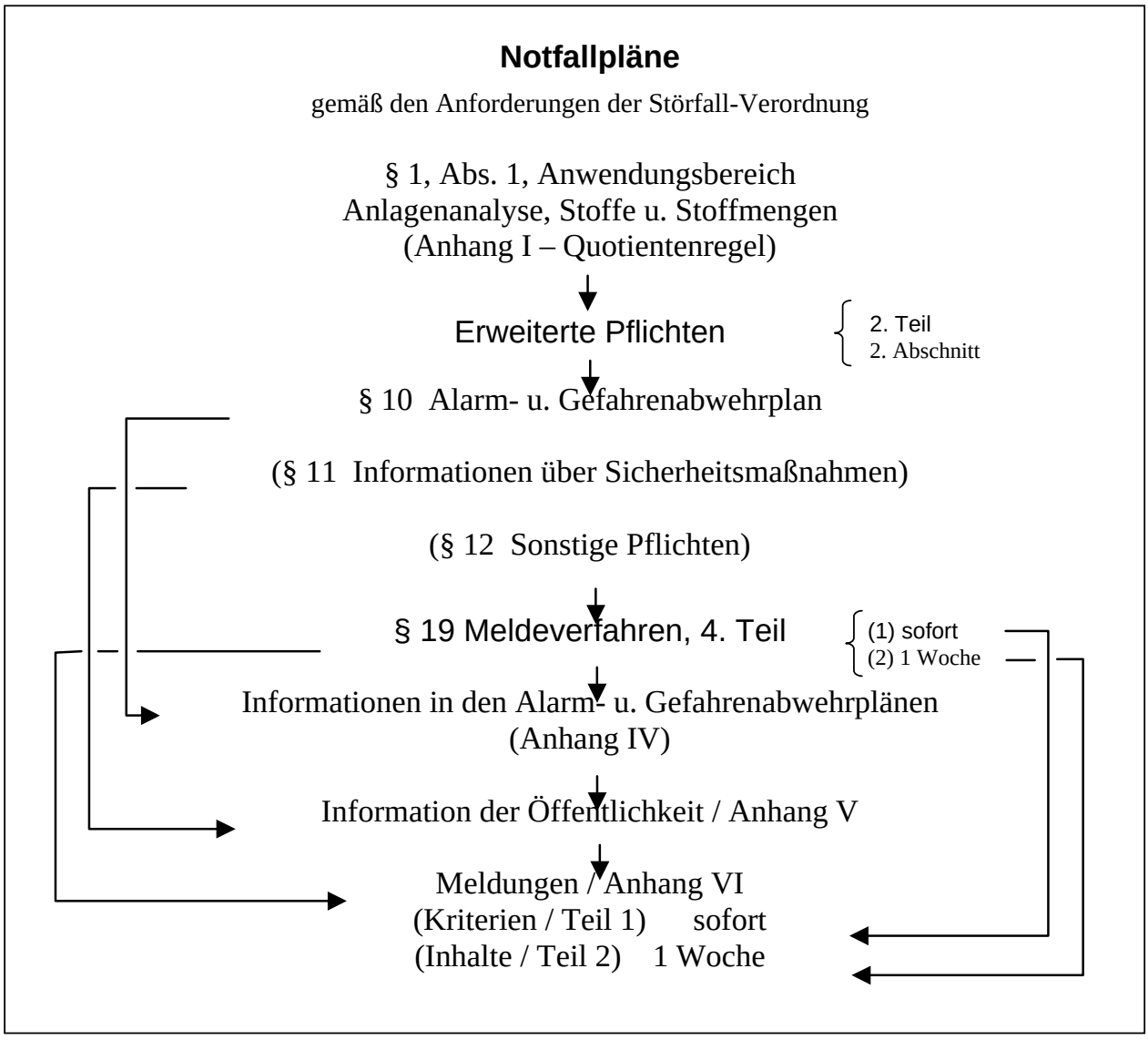



**Abbildung 10.2.2.2.1**: Ablaufschema zur Erstellung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten gemäß den Festlegungen der StörfallV

### 10.2.2.3 Interner Alarm- und Gefahrenabwehrplan (AGAP)

Ein interner Alarm- und Gefahrenabwehrplan hat sich auf den gesamten Betriebsbereich einschließlich der Anlagen nach § 19g WHG, sofern diese dem Betriebsbereich angehören, zu beziehen. Im AGAP sind alle möglichen Ereignisse, welche Gefahren für den Betriebsbereich auslösen können, grundsätzlich zu berücksichtigen. Hierzu gehören auch natürliche umgebungsbedingte Gefahrenquellen.

Zu berücksichtigen sind ebenfalls Anforderungen aus anderen Rechtsbereichen wie den

- Katastrophenschutzgesetzen
- Brandschutzgesetzen
- Gesetze über Hilfeleistungen
- Landwassergesetzen und WHG

Problematisch könnte die übergreifende Planung für Betriebsbereiche in einem Industriepark sein. Es gibt keine gesetzlichen Verpflichtungen zu einer Zusammenarbeit. Die Untersuchungen in den Industrieparks der Modellregionen Bitterfeld und Marl haben jedoch ergeben, dass sämtliche Betreiber eine vernünftige Zusammenarbeit pflegen und alle Planungen sowie Aktivitäten in gebotenem Maße aufeinander abgestimmt haben. Dies wird auch durch die Einrichtungen von übergeordneten Organisationsstrukturen in Form separater Servicegesellschaften gewährleistet.

In der Planung sind ebenfalls die Betreibervorkehrungen zur Ermöglichung externer Maßnahmen zu berücksichtigen (§ 10 i.V.m. Anh. IV, Nr. 7). Der AGAP hat die notwendigen Informationen für die Behörden zur Erstellung der externen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne zu enthalten (§ 6 Abs. 1, Nr. 2). Dies kann im Plan durch ergänzende sogenannte spezielle Informations- und Checklisten bewerkstelligt werden. Die Einbeziehung der Beschäftigten ist bei und nach Erstellung eines AGAPs unbedingt vorzunehmen (§ 10 Abs. 3).

Die (betroffene) Öffentlichkeit ist über den Alarm- und Gefahrenabwehrplan im Rahmen der Information nach § 11 und Anh. V zu informieren. Wichtige Erkenntnisse aus der Planerstellung, wie z.B. aus Störfallauswirkungsbetrachtungen mit Darlegung von im Störfall zu erwartende Immissionswerte (Anh. V Nr. 6), sind in die Broschüren zur Erfüllung der Pflichten aus § 11 einzubringen.

Ein AGAP sollte Ausarbeitungen zur geforderten Erprobung (§ 10 Abs. 4) insbesondere mit den externen Kräften und den Katastrophenschutzbehörden enthalten, um den internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan mit dem externen Plan für Übungen abzustimmen. Eine Anforderung zu einer entsprechenden Ausarbeitung im Rahmen der Erstellung eines AGAPs ist aus der StörfallV nicht abzuleiten.

Eine Verpflichtung zur Darstellung eines Konzeptes zur Prüfung eines AGAPs besteht nicht. Die Prüfung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen ist über Verordnungen und Gesetze nicht klar geregelt. Zwar hat der Betreiber der Behörde

seinen Plan zur Information vorzulegen, jedoch gibt es keine konkrete Prüfpflicht. In einem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren ist, soweit ein Betriebsbereich mit erweiterten Pflichten gemäß der Störfall-Verordnung abgehandelt wird, mit den Antragsunterlagen ein interner Alarm- und Gefahrenabwehrplan vorzulegen. Eine Prüfung, insbesondere durch einen Sachverständigen nach § 29a des BImSchG, ist allerdings nicht vorgeschrieben und wird in aller Regel als Genehmigungsvoraussetzung nicht durchgeführt.

#### 10.2.2.4 Wesentliche Aspekte der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

In einem internen als auch externen Alarm- und Gefahrenabwehrplan sind bestimmte wesentliche Aspekte für eine sichere und vor allem schnelle Handhabung unabdingbare Voraussetzung. Im Falle des Eintretens eines unerwünschten Ereignisses mit - wenn auch unterschiedlichen - Gefahrensituationen steht i.d.R. niemals viel Zeit zur Verfügung. Sofortige Alarmierung und schnelles Handeln sind daher durch adäquate technische Vorkehrungen und organisatorische Einrichtung über richtiges Planen zu gewährleisten.

Dies bedeutet daher eine Ausarbeitung von z.B. geeigneten Ablaufplänen in graphischer Form und vorgeprägten Formularen, welche bereits für alle möglichen Ereignisfälle und Abläufe kurze und präzise Informationen enthalten müssen. Eine wesentliche Hilfe bei der Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen stellen die Empfehlungen der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV dar.

Als Anlage VI liegt ein Modul als Muster für einen internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan bei.

### 10.2.3 Pflichten der Behörden nach StörfallV und aufgrund der Seveso-II-Richtlinie

Durch die einschlägigen Gesetze der Länder ist Artikel 11 der Seveso-II-Richtlinie umzusetzen, der folgende Behördenpflichten bestimmt:

> *Die Mitgliedstaaten sorgen dafür, dass für alle unter Artikel 9 fallenden Betriebe (Betriebe mit erweiterten Pflichten nach StörfallV) die von dem*

*Mitgliedstaat hierzu benannten Behörden einen externen Notfallplan für Maßnahmen außerhalb des Betriebs erstellen.*

*Die Notfallpläne müssen erstellt werden, um*

- *Schadensfälle einzudämmen und unter Kontrolle zu bringen, so dass die Folgen möglichst gering gehalten und Schäden für Mensch, Umwelt und Sachen begrenzt werden können;*
- *Maßnahmen zum Schutz von Mensch und Umwelt vor den Folgen schwerer Unfälle einzuleiten;*
- *notwendige Informationen an die Öffentlichkeit sowie betroffene Behörden oder Dienststellen in dem betreffenden Gebiet weiterzugeben;*
- *Aufräumarbeiten und Maßnahmen zur Wiederherstellung der Umwelt nach einem schweren Unfall einzuleiten.*

*Die Notfallpläne enthalten die in Anhang IV der Seveso-II-Richtlinie (Teil 2) genannten Informationen. Die Mitgliedstaaten führen ein System ein, das sicherstellt, dass die internen und externen Notfallpläne in angemessenen Abständen von höchstens drei Jahren durch die bezeichneten Behörden überprüft, erprobt und erforderlichenfalls überarbeitet und auf den neuesten Stand gebracht werden. Die Mitgliedstaaten führen ein System ein, das sicherstellt, dass die Notfallpläne falls erforderlich, von der hierzu bezeichneten zuständigen Behörde unverzüglich angewendet werden, sobald*

- *es zu einem schweren Unfall kommt oder*
- *es zu einem unkontrollierten Ereignis kommt, bei dem aufgrund seiner Art vernünftigerweise zu erwarten ist, dass es zu einem schweren Unfall führt.*

*Weiter sorgen die Mitgliedstaaten dafür, dass die Öffentlichkeit zu den externen Notfallplänen gehört wird, wenn diese erstellt oder aktualisiert werden.*

Nach § 15 der Störfall-Verordnung hat die zuständige Behörde gegenüber den Betreibern festzustellen, bei welchen Betriebsbereichen oder Gruppen von Betriebsbereichen auf Grund ihres Standorts, ihres gegenseitigen Abstands und der in ihnen vorhandenen gefährlichen Stoffe eine erhöhte Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit

von Störfällen bestehen kann. Entsprechend der hier relevanten Fragestellungen ist zu überlegen, ob „auf Grund ihres Standortes“ auch als eine besondere Exposition gegenüber umgebungsbedingten Gefahrenquellen interpretiert werden könnte.

### 10.2.4 Pflichten von VAwS-Anlagenbetreibern

Die Pflichten von VAwS-Anlagenbetreibern ergeben sich aus § 19i und k WHG sowie den Anlagenverordnungen den Länder.

U.a. sind durch die Betreiber folgende Pflichten zu erfüllen:

- Beauftragung von Fachbetrieben zum Einbau, zur Aufstellung, Instandhaltung, Instandsetzung oder Reinigung von 19g-Anlagen, wenn er selbst die fachlichen Voraussetzungen nicht erfüllt.
- Überwachung der Dichtheit und Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen
- Beauftragung von zugelassenen Sachverständigen zur Prüfung des ordnungsgemäßen Zustandes der Anlage
- Beobachtung von Gewässer und Boden bei behördlicher Anordnung
- Überwachen der Anlage bei Befüllung und Entleerung
- Aufstellung einer Betriebsanweisung mit Überwachungs-, Instandhaltungs- und Alarmplan

### 10.2.5 Alarmplanung für VAwS-Anlagen

In den VAwS-Anlagenverordnungen der Länder wird für jede VAwS-Anlage eine Betriebsanweisung mit Instandhaltungs-, Überwachungs- und Alarmplan gefordert. Ziel der Verordnungen ist der sichere Einschluss der wassergefährdenden Stoffe unabhängig von der Gefahrenquelle. Somit sind, ohne dass explizit darauf eingegangen wird, ggf. Maßnahmen zum Schutz der Anlagen bei Hochwasser erforderlich.

Für die Betriebsanweisung kommen entsprechend der VV VAwS NRW (VV-VAwS NRW, 2001) insbesondere folgende Punkte in Betracht:

- Überwachungsplan
  Betriebliche Überwachungsmaßnahmen (§§ 19i Abs. 2 Satz 1 und 19k WHG)

- Überprüfung durch Sachverständige, Terminüberwachung, Mängelbeseitigung
- Instandhaltungsplan (§§ 19g und 19i Abs. 1 WHG)
  Wartungsmaßnahmen
  Regelmäßige und besondere Instandhaltungsmaßnahmen,
- Alarmplan
  Meldewege
  Maßnahmen im Schadensfall
- Sonderregelungen
  Befüllen von Anlagen
  Beseitigung von Niederschlagswasser und von wassergefährdenden Stoffen aus Auffangräumen und von Auffangflächen,
  Einleitung wassergefährdender Stoffe in Abwasseranlagen
  Angaben über Stoffe und Lagermengen
  Fachbetriebspflicht (§§ 19i Abs. 1 und 19l WHG)
  Sonderanforderungen in Schutzgebieten (Schutzgebietsverordnung)

Ausgenommen von der o.g. Pflicht sind Heizölverbraucheranlagen, für die das Anbringen des amtlich bekannt gemachten Merkblattes "Betriebs- und Verhaltensvorschriften beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen" genügt.

Die Vorgaben für Betriebsanweisungen für VAwS-Anlagen sind in der Verwaltungsvorschrift des Landes Sachsen-Anhalt ähnlich aufgebaut wie in der Verwaltungsvorschrift in NRW (VV-VAwS LSA, 1997). Hiervon sind Anlagen der Gefährdungsstufe A und Heizölverbraucheranlagen ausgenommen. Für Heizölverbraucheranlagen genügt das Anbringen des entsprechenden amtlich bekannt gemachten Merkblattes „Betriebs- und Verhaltensvorschriften bei Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“.

Sachsen-Anhalt fordert die jährliche Unterweisung des Bedienpersonals mit Bezug auf die Anforderungen des Gewässerschutzes. Dies ist in den meist durchgeführten betrieblichen Unterweisungen (Meisterbesprechung o. ä.) in der Regel nicht enthalten, da die untere und mittlere Führungsebenen in den Betrieben häufig ebenfalls nicht unterwiesen oder geschult sind.

Das Anlagenkataster, das die Anlagenbeschreibung enthält, wird nur für Anlagen der Gefährdungsstufe D gefordert. Damit fehlt für alle übrigen Anlagen eine Beschreibung der für den Gewässerschutz bedeutsamen Gefahrenquellen in der Anlage und der Vorkehrungen und Maßnahmen zur Vermeidung von Gewässerschäden bei Be-

triebsstörungen in der Anlage, die z.B. auch durch Hochwasserereignisse hervorgerufen werden können.

Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass für Standorte ab einer bestimmten Größe die Begrenzung auf D-Anlagen zu kurz greift und dass die gemeinsame Betrachtung von geeigneten Anlagengruppierungen sinnvoller ist.

Das Land Sachsen hat dieselben Regelungen wie Sachsen-Anhalt bezogen auf die Betriebsanweisung mit Alarmplan und Merkblatt für Heizölverbraucheranlagen. In Sachsen sind jedoch bei Anlagen der Gefährdungsstufe A nur diejenigen für feste und gasförmige Stoffe ausgenommen.

Das Anlagenkataster hat die Bezeichnung Anlagendokumentation, deckt sich aber inhaltlich mit den Vorgaben zum Inhalt wie in Sachsen-Anhalt. Im Unterschied zu Sachsen-Anhalt wird eine Anlagendokumentation neben den Anlagen der Gefährdungsstufe D auch für Anlagen der Gefährdungsstufe C in Schutz- und Überschwemmungsgebieten gefordert. Auch hier greifen die Bestimmungen zur Dokumentation bei Standorten mit überwiegend A-, B- und C-Anlagen zu kurz.

## 10.3 Vollzug der VAwS-Anlagendokumentation in den Bundesländern

Die Anforderungen zur Anlagendokumentation sind in der Regel unzureichend. Betriebe mit mehr als 50 -100 Anlagen und Großbetriebe mit mehreren hundert Anlagen verfügen oftmals nur über einfache Tabellen mit wenigen Anlagengrunddaten. Häufig sind nur Lageranlagen aufgeführt, HBV-Anlagen und Abfüllplätze fehlen. Dies betrifft auch Standorte, die nach DIN EN 14.001 zertifiziert sind oder deren Umwelterklärung nach EU-Öko-Audit-Verordnung validiert ist.

Wenige Unternehmen haben umfangreichere Anlagenkataster als Datenbanksystem mit den erforderlichen Berichtsfunktionen. Für die Vielzahl von Heizölverbraucheranlagen wird in der Regel nur das Anbringen der amtlich eingeführten Merkblätter gefordert. Diese fehlen nach Aussage verschiedener VAwS-Sachverständige jedoch ebenfalls häufig.

Es fällt auf, dass bei Sachverständigenprüfungen der Schwerpunkt bei der technischen Prüfung liegt und die Anlagendokumentation, da sie in der Regel nicht oder

nur mangelhaft vorhanden ist, nur selten mitgeprüft wird. Zur Gewinnung der Gesamtübersicht und der Bewertung des Gesamt-Gefährdungspotenzials sollte für Gewerbe- und Industriebetriebe grundsätzlich ein standortbezogenes Anlagenkataster erstellt werden. Erst auf dieser Grundlage lässt sich ein sinnvoller Alarmplan erstellen. Dieser kann je nach Bedarf auf eine Einzelanlage oder auf Anlagenbereiche bezogen werden.

Defizite in der behördlichen Überwachung ergeben sich aus der in den Ländern unterschiedlich geregelten Anzeigepflicht von kleinen VAwS-Anlagen bei der Wasserbehörde. Viele Heizölverbraucheranlagen sind, je nach Landesvorschriften, zwar der zuständigen Baubehörde oder Stadt- bzw. Gemeindeverwaltung im Zuge der Baugenehmigung gemeldet, die Wasserbehörde wird jedoch nicht automatisch informiert. Dies hat zur Folge, dass viele Anlagen der Gefährdungsstufe B ohne Prüfung vor Inbetriebnahme durch den Sachverständigen betrieben werden.

In einigen Bundesländern wie Sachsen werden keine besonderen Betriebsanweisungen gefordert, wenn der Standort nach DIN EN 14.001 zertifiziert oder seine Umwelterklärung nach EU-Öko-Audit-Verordnung validiert ist. Dies führt häufig dazu, dass die VAwS-bezogenen Anforderungen an die Dokumentation nicht in vollem Umfang erfüllt sind.

## 10.4 Spezifische Planungen für Anlagen zum Umgang mit Heizölen und Kraftstoffen bei Hochwasserlagen

Spezifische Planungen für Anlagen zum Umgang mit Heizölen und Kraftstoffen im Gefahrenbereich von Hochwasserlagen gibt es in der Modellregion Dresden. Entsprechend den Vorgaben nach § 10 Abs. 5 der sächsischen VAwS-Anlagenverordnung bemüht sich die Stadt Dresden um den Austausch von alten Heizöllagertanks in Privathaushaltungen. Grundlage hierfür sind kartierte Überschwemmungsgebiete, die in den entsprechenden Abbildungen des Kapitels 6 dargestellt sind.

## 10.5 Notfall-, Alarm- und Gefahrenabwehrplanung sowie Organisationsstrukturen der Länder

Die Organisationen und Vorbereitungen auf das Wirksamwerden der Gefahrenquellen der im Vorhaben zu betrachtenden Länder sind im Folgenden in einer medienübergreifenden Beurteilung und Betrachtung der Länderorganisationen dargestellt. In Bezug auf die außerbetrieblichen Organisationsstrukturen zur Notfall-, Alarm- und Gefahrenabwehrplanung der Länder ergibt sich nach den Untersuchungsergebnissen der folgend beschriebene Kenntnisstand:

### 10.5.1 Nordrhein-Westfalen

Grundlage für den Katastrophenschutz in Nordrhein-Westfalen ist das Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung (FSHG) vom 10.02.1998 in der Fassung vom 05.04.2005 [FSHG, 2005]. Die Organisationsstruktur zwischen den verschiedenen Behörden sowie in Bezug auf die Anlagenbetreiber ist in **Abbildung 10.5.1.1** schematisch dargestellt.

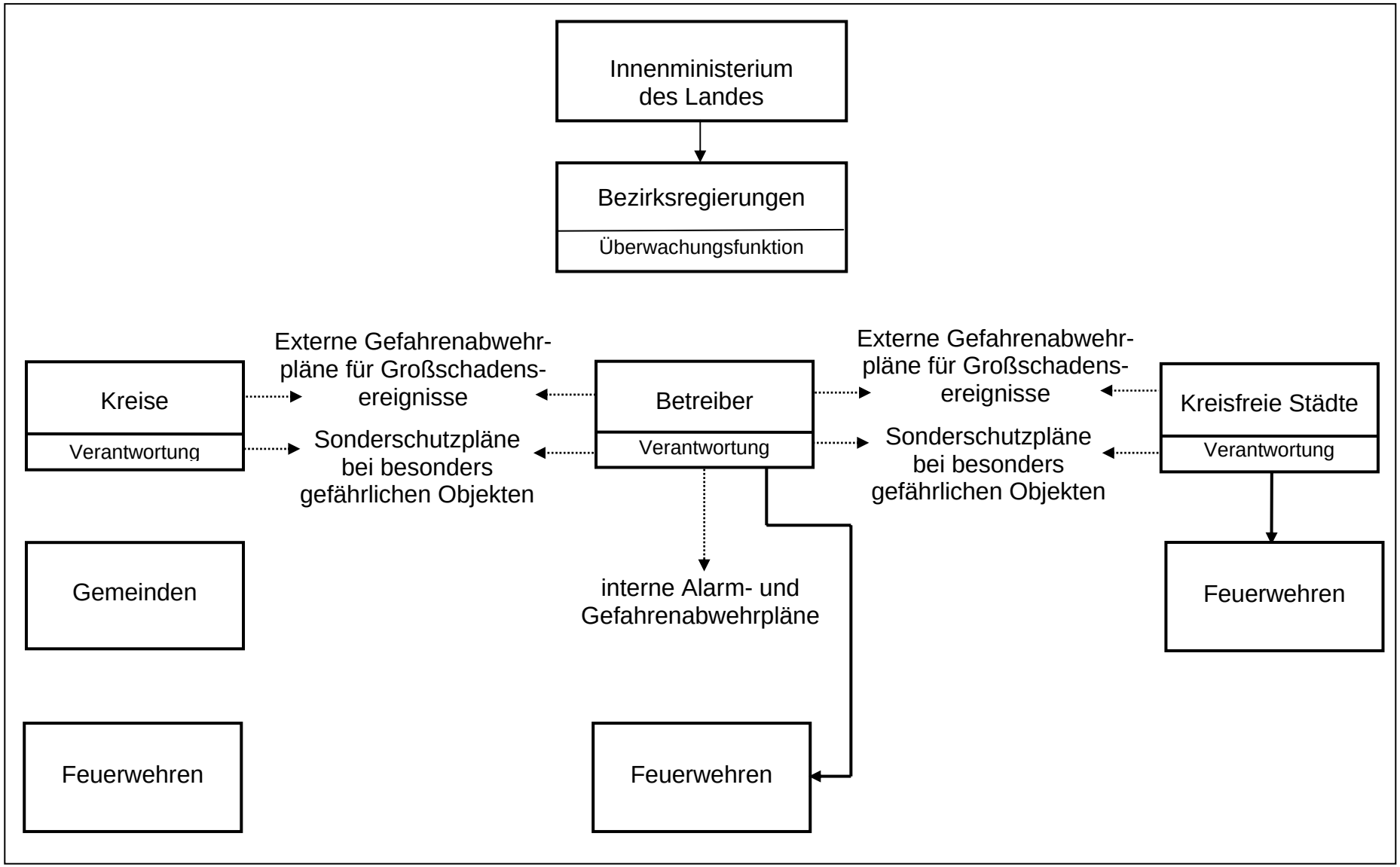



**Abbildung 10.5.1.1**: Katastrophenschutzorganisation Nordrhein-Westfalen

Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung

Nach § 22 FSHG haben die Gemeinden unter Beteiligung ihrer Feuerwehren zur Vorbereitung auf Schadens- und Großschadensereignisse Brandschutzpläne und Pläne für den Einsatz der öffentlichen Feuerwehr aufzustellen und fortzuschreiben [FSHG, 2005]. Die Aufstellung und Fortschreibung von Gefahrenabwehrplänen für Großschadensereignisse und von Sonderschutzplänen für besonders gefährliche Objekte nach § 24 Abs. 1 FSHG obliegt den Kreisen und den kreisfreien Städten. Bei der Aufstellung von Gefahrenabwehrplänen und Sonderschutzplänen sind ggf. die Gemeinden zu beteiligen. Aufsichtsbehörden sind nach § 32 FSHG in aufsteigender Reihenfolge der Landrat, die zuständige Bezirksregierung und der Innenminister.

Die Betreiber von gefährlichen Anlagen und Einrichtungen sind nach § 24 Abs. 2 FSHG dazu verpflichtet, die Behörden bei der Aufstellung der Pläne zu unterstützen. Die Behörde kann diese Betreiber dazu verpflichten, betriebliche Alarm- und Gefahrenabwehrpläne aufzustellen.

Die Regelungen des § 24 FSHG gelten nicht für Betriebsbereiche nach § 3 Abs. 5a BImSchG, die unter die erweiterten Pflichten der StörfallV fallen. Für diese gelten die Regelungen des § 24a FSHG. In § 24a sind die Anforderungen des Artikels 11 und des Anhangs IV Nr. 2 der Seveso RL an externe Notfallpläne in nationales Recht umgesetzt. Das FSHG definiert in § 24a Abs. 1 die externen Notfallpläne als Sonderschutzpläne. Zuständig für deren Erstellung sind nach § 22 Abs. 1 Satz 2 FSHG die Kreise und kreisfreien Städte.

Aus der Regelung in § 24 Abs. 1 FSHG, wonach die Anlagenbetreiber verpflichtet sind, den Gemeinden die für die Gefahrenabwehrplanung erforderlichen Informationen zu liefern, folgt keine Zuständigkeit der Gemeinden für die Erstellung externer Notfallpläne. Die Vorschrift betrifft Angaben zur Gefahrenabwehrplanung gegenüber den Gemeinden als auch gegenüber Kreisen und kreisfreien Städten bei deren überörtlicher Planung. Die Zuständigkeit zur externen Notfallplanung folgt ausschließlich aus § 22 Abs. 1 Satz 2 in Verbindung mit § 24a Abs. 1 FSHG.

Die Zuständigkeit zur Ausnahmeentscheidung nach § 24a Abs. 1 Satz 2 FSHG ist unklar. Es gibt keine eindeutige Feststellung, dass die Ausnahmezuständigkeit der Regelzuständigkeit folgt. Vielmehr lässt der Wortlaut vermuten, dass mit „zuständiger Behörde im Sinne der Richtlinie“ und der „für die Gefahrenabwehrplanung zuständigen Behörde“ unterschiedliche Behörden gemeint sein könnten. Bis zu einer FSHG-Novelle, bei deren Gelegenheit die Zuständigkeitsfrage im Sinne der erstgenannten

Variante (Gefahrenabwehrbehörde) geklärt werden soll, werden die Bezirksregierungen gebeten, über Ausnahmen nach § 24a Abs. 1 Satz 2 FSHG zu entscheiden, um negative Kompetenzkonflikte zu vermeiden (§ 8 Abs. 3 3 LOG NW).

Gefahrenabwehrplänen oder Sonderschutzplänen kommt nach dem FSHG keine besondere Rechtsqualität (etwa vergleichbar Bebauungspläne) oder eine den Brandschutzbedarfsplänen vergleichbare grundsätzliche Bedeutung zu, die eine Zuständigkeit des Gemeinderates/Kreistages erfordern würde.

Meldesysteme für Hochwasserwarnungen

Für hochwasserelevante Gewässer in NRW, die der Hochwassermeldeordnung unterliegen, wurden Hochwasseraktionspläne aufgestellt, die im Internet zur Verfügung stehen. Zuständige Behörden für den Hochwassermeldedienst sind in der Webseite des NRW-Landesumweltamtes aufgeführt. Der Meldedienst für den Rhein wird im Rahmen der IKSR in Zusammenarbeit mit dem Hochwassermeldezentrum Mainz durchgeführt, das für die Hochwasservorhersage für den gesamten Rhein verantwortlich ist. **Abbildung 10.5.1.2** verdeutlicht die Alarmkette Hochwasser in Nordrhein-Wesfalen entsprechend der Hochwassermeldeordnung (HWMO) (Internationaler Warn- und Alarmplan Rhein). Zuständige Behörden für die Deichaufsicht am Rhein sind zwischen Bad Honnef (Landesgrenze Rheinland-Pfalz) und Dormagen das StUA Köln, Außenstelle Bonn und zwischen Dormagen und Bimmen (Landesgrenze Niederlande) das StUA Krefeld.

Im Falle eines durch Erdbeben, Sturm oder Bergsenkung ausgelösten Störfalls in Betriebsbereichen nach der StörfallV oder nach § 19 g WHG verläuft die Alarmkette vom Betreiber zum Kreis bzw. der kreisfreien Stadt, von dort ins benachbarte Umland sowie zur jeweiligen Bezirksregierung. Die Organisation und die Maßnahmen sind in etwa analog zum Hochwasserschutz. Entfernte Gebiete, d.h. Kreise und kreisfreie Städte, werden über die jeweilige Bezirksregierung alarmiert.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die Alarm- und Gefahrenabwehrstrukturen in NRW aufgrund der langjährigen Erfahrung bewährt haben.

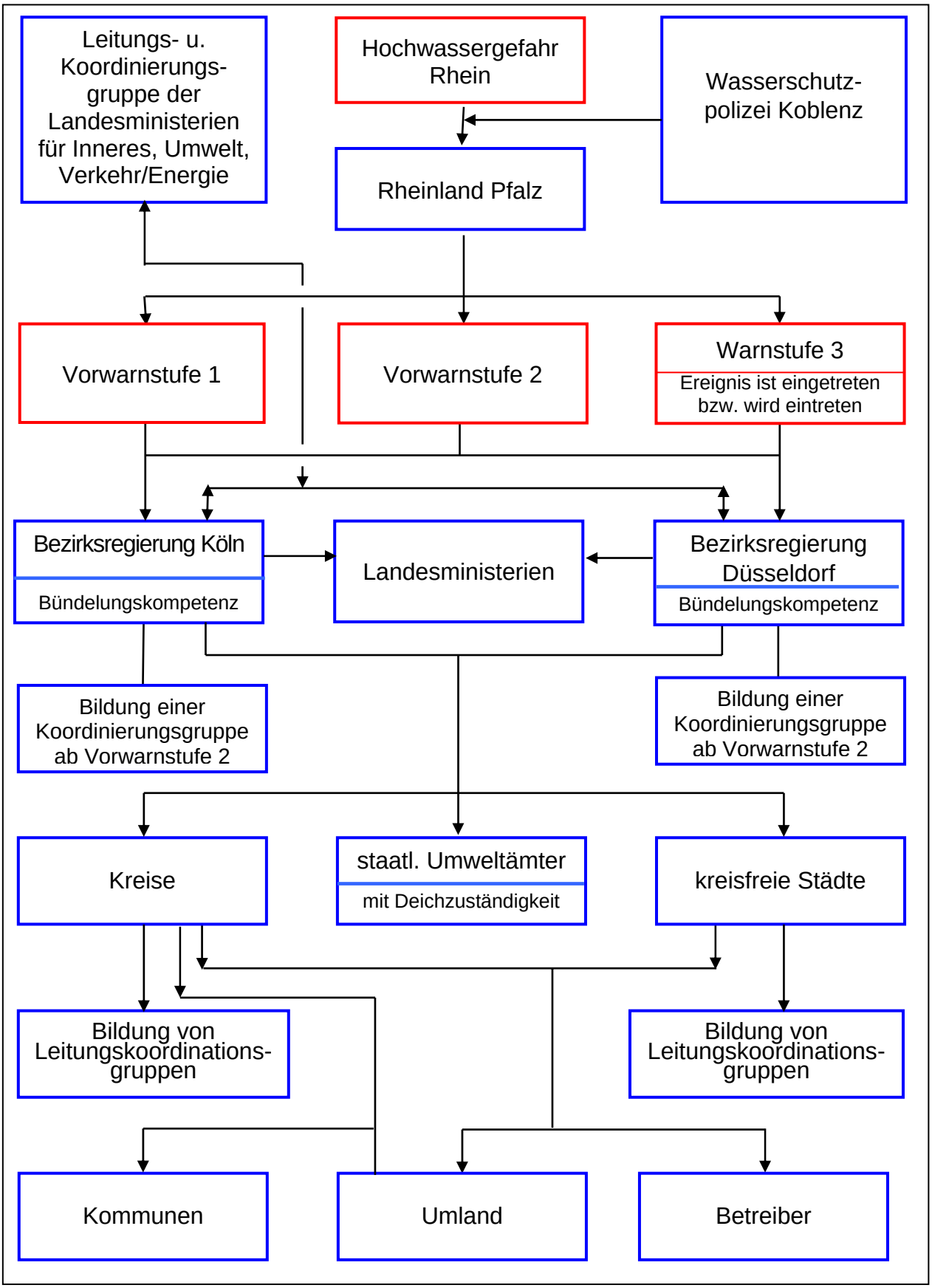



**Abbildung 10.5.1.2**: Alarmkette Hochwasser Nordrhein-Wesfahlen gemäß der Hochwassermeldeordnung (HWMO) (Internationaler Warn- und Alarmplan Rhein)

Anmerkung zum Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung (FSHG)

Dieses in Nordrhein-Westfalen so bezeichnete Katastrophenschutzgesetz vom 10.02.1988 wurde am 03.02.2004 durch den Artikel IV des Gesetzes zur Stärkung der regionalen und interkommunalen Zusammenarbeit der Städte, Gemeinden und Kreise geändert. Es weist in allen Bereichen und Inhalten umfangreiche und detaillierte Informationen und Anweisungen auf. Hervorzuheben sind die Regelungen unter § 24 und § 24a bzgl. der Einbindung der Betreiber von Anlagen unter Berücksichtigung der Vorgaben der StörfallV. Allerdings fehlt eine Definition der darin genannten “Großschadensereignisse” (NRW Terminus für Katastrophe), die durch Gefahrenquellen wie Hochwasser, Sturm oder Erdbeben ausgelöst werden können. Eine Darstellung solcher Gefahren mit den daraus möglicherweise resultierenden Schäden stellt eine wichtige Grundlage für zu ergreifende adäquate Maßnahmen dar.

## 10.5.2 Sachsen-Anhalt

Wie mit dem Schreiben des Landesverwaltungsamtes des Landes Sachsen-Anhalt (vom 15.03.2006) den Berichterstattern mitgeteilt wurde, befindet sich der bislang noch in Kraft befindliche *Gemeinsame Runderlass* zur „gegenseitigen Information über umweltbelastete Schäden oder entsprechende Gefahrenlagen“ einschließlich eines Schemas über den Informationsablauf zu v.g. Ereignissen in Überarbeitung. Aus dem zukünftigen Runderlass soll dann hervorgehen, wie unter Beachtung einiger Gesetzesnovellierungen die landesweite Melde- und Informationsstruktur strukturiert wird.

Krisenmanagement und Katastrophenschutz in Sachsen-Anhalt

Mit Zusammenführung der vormaligen drei Regierungspräsidien in das Landesverwaltungsamt (LVwA) zum 01.01.2004 wurde auch eine Neustrukturierung der bisher unterschiedlich strukturierten Rufbereitschaften notwendig. Seit dem 01.01.2004 obliegt die Aufgabe der Gefahrenabwehr nach § 87 in Verbindung mit § 89 des Gesetzes über die öffentliche Sicherheit und Ordnung des Landes Sachsen-Anhalt [SOG LSA, 2003] auch außerhalb der regelmäßigen Arbeitszeit der Krisenmanagement-Basis (K-Basis) des Landesverwaltungsamtes in Halle (Saale).

Der Diensthabende der K-Basis hat die Aufgabe, eingehende Meldungen “wichtiger Ereignisse“ (polizeiseitig definiert) sowohl von den Einsatzleitstellen der Landkreise und kreisfreien Städten als auch der Polizeidirektionen entgegenzunehmen, auf ihren Informationsgehalt hin zu bewerten, ggf. mit zusätzlichen Erkenntnissen/Informationen zu verdichten, um weiterführende Maßnahmen zur nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr einzuleiten. Desweiteren erfolgen Benachrichtigungen an die zuständigen Fachreferate oder Fachbehörden, an zu beteiligende Ministerien, an das Lagezentrum des Landes im Ministerium des Inneren sowie eine Informationsweitergabe an die Einsatzleitstellen oder Polizeidirektionen, soweit dies noch nicht von anderer Stelle schon erfolgte. Alle „wichtigen Ereignisse“ im Land Sachsen-Anhalt sind der K-Basis zur Kenntnis zu geben. Hier laufen alle Informations- und Meldestränge zur allgemeinen nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr zusammen. Besondere Meldepflichten, die sich aus Spezialgesetzen ergeben, bleiben davon unberührt (z.B. Meldepflicht nach der StörfallV). Informationen über die Hochwasserstände der Flussläufe entsprechend der HW-Meldeordnung LSA werden an die K-Basis weitergeleitet.

Aus der K-Basis kann situationsabhängig zeitnah eine Kernbesetzung des Katastrophenschutzstabes des LVwA gebildet werden. Eine solche Kernbesetzung ist im Rahmen eines größeren Hochwasserereignisses vorgesehen. Die Zuständigkeit des LVwA im Rahmen des Katastrophenschutzgesetzes ergibt sich aus der bislang letzten Änderung des Katastrophenschutzgesetzes LSA vom 28. Juni 2005 [KatSG LSA, 2005]. Demzufolge ist das LVwA obere Katastrophenschutzbehörde, die Landkreise und kreisfreie Städte stellen die unteren Katastrophenschutzbehörden dar und das Ministerium des Inneren ist die oberste Katastrophenschutzbehörde.

Durch die Novellierung des Wassergesetzes [WG LSA, 2005] erfolgten auch Änderungen zur Abwehr von (Wasser)Gefahren in den §§ 171 bis 175 WG LSA.

Anmerkung zum Katastrophenschutz

Die Berichterstatter empfehlen im Katastrophenschutzgesetz die einzelnen Aufgaben und Handlungsweisen der jeweils verantwortlichen Katastrophenschutzbehörden (untere, obere und oberste) besser auszugestalten, um z.B. bei großen Hochwasserereignissen und evtl. daraus resultierenden Folgeereignissen in Betriebsbereichen entsprechend der StörfallV oder Anlagen nach § 19 g WHG sofortige adäquate technische und organisatorische Maßnahmen besser zu gewährleisten (§§ 2a bis 7). Erforderliche Definitionen, insbesondere von Großschadensereignissen, sind im Gesetz nicht enthalten.

### 10.5.3 Sachsen

Seit dem 1. Januar 2005 ist im Freistaat Sachsen das Sächsische Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz [SächsBRKG, 2004] vom 24. Juni 2004 in Kraft. Dieses Gesetz bündelt die verschiedenen Aufgabenbereiche der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr und ermächtigt zu gesonderten Regelungen bei Hochwasser (**Abbildung 10.5.3.1**).

Im Sächischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) in Dresden wurde ein neues Landeshochwasserzentrum (LHWZ) eingerichtet. In Auswertung der Hochwasserkatastrophe vom August 2002 wurde festgestellt, dass es für ein schnelles und konzentriertes Handeln zur Hochwasserabwehr zwingend notwendig ist, Warnungen und Prognosen auf der Basis einer Gesamtbeurteilung aus einer Hand zu erstellen. Aus diesem Grund erfolgte die Zusammenführung des bis dahin in vier regionalen Vorhersagestellen zersplitterten Hochwassernachrichtendienstes im LHWZ.

Jede für die Hochwasserabwehr zuständige Behörde erhält entsprechend der Hochwassernachrichten- und Alarmdienstverordnung (HWNAV) vom 17.08.2004 direkt vom LHWZ alle relevanten Hochwassernachrichten, d.h. das LHZ benachrichtigt bis zur Gemeindeebene durch entsprechende Hochwasserwarnungen und Hochwasserstandsmeldungen per Fax oder E-Mail. Über den Beginn bzw. die Verschärfung einer Hochwassersituation wird zusätzlich mittels Hochwassereilbenachrichtigung per SMS informiert. Um sicher zu stellen, dass diese Informationen den Empfänger auch erreicht haben, ist der Empfang der SMS-Nachricht beim LHWZ telefonisch zu quittieren. Fehlt diese Empfangsbestätigung, wird darüber die zuständige Aufsichtsbehörde informiert, damit Störungen im Meldefluss beseitigt werden können. Auch für besonders gefährdete Dritte und Private, z.B. Betreiber von Betriebsbereichen nach der StörfallV oder Anlagen nach § 19g WHG, besteht die Möglichkeit, mittels SMS direkt vom LHWZ über den Beginn bzw. die Verschärfung einer Hochwassersituation informiert zu werden. Das jeweilige Ausmaß eines Hochwassers wird durch vier Alarmstufen beschrieben, deren Ausrufung den Landkreisen und Kreisfreien Städten als Untere Wasserbehörden obliegt.

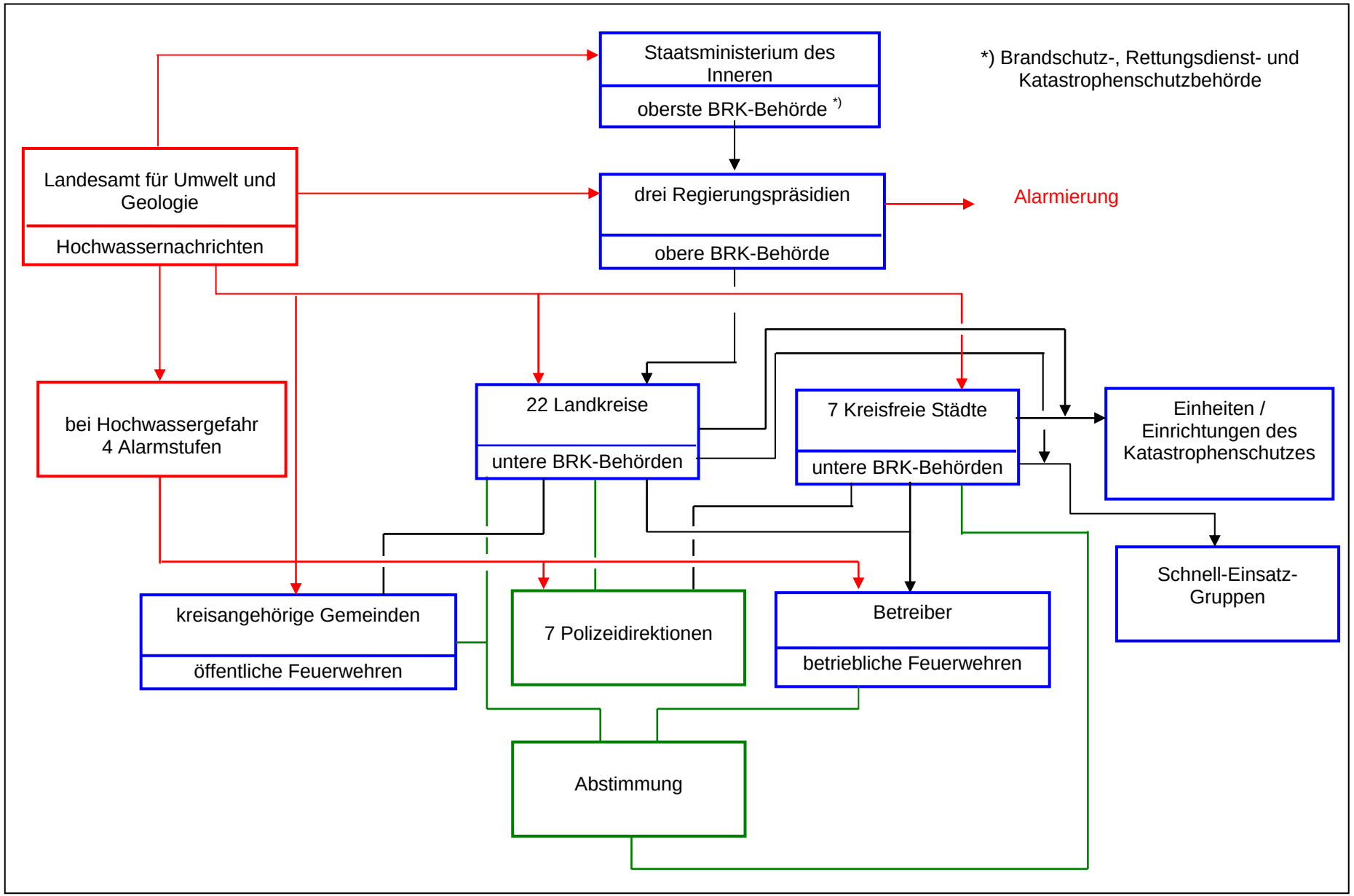



**Abbildung 10.5.3.1**: Organisation und Alarmsystem des Katastrophenschutzes in Sachsen

Zwischen den Unteren Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörden und den Betreibern sollen unterbrechungsfreie Kommunikationsverbindungen eingerichtet werden.

In Sachsen sind ca. 40 Betriebsbereiche, die unter die erweiterten Pflichten, und ca. 60 Betriebsbereiche, die unter die Grundpflichten der Störfall-Verordnung fallen, vorhanden. Nur jeweils 3 Betriebsbereiche jeder Gruppe waren nach Aussagen des Landesamtes im August 2002 vom Hochwasser betroffen.

Für Betriebsbereiche, die den erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung unterliegen, wurden externe Notfallpläne von den Landkreisen und Kreisfreien Städte (Unteren Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörden) erstellt (bis zum 31. Dezember 2004 entsprechend SächsGefUnfallG, ab dem 1. Januar 2005 gemäß den §§ 43-45 SächsBRKG). Die Erarbeitung der externen Notfallpläne einschließlich der dazugehörigen Störfallszenarien erfolgte unter Beteiligung von externen Sachverständigen. Im Jahre 2003 erfolgte bereits eine weitgehende Abstimmung der behördlichen externen Notfallpläne mit den "Betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen". Diese Abstimmung wird laufend fortgesetzt.

## 10.6 Technische und organisatorische Anforderungen an die Betreiber zur Koordination von internen und externen Maßnahmen

Die Anforderungen der Betreiber in Bezug auf ein effizientes Zusammenwirken von internen und externen Maßnahmen zur Alarmierung und Gefahrenabwehr ergeben sich aus der Störfall-Verordnung und in begrenztem Maße aus der VAwS sowie aus der gesetzlichen Verantwortung des Betreibers für einen sicheren Betrieb seiner Anlagen zur Gewährleistung der körperlichen Unversehrtheit der Mitarbeiter, dem Schutz der Nachbarschaft sowie der Umwelt.

Nach § 5 Abs. 2, § 6 Abs. 3 und 4 sowie § 10 der StörfallV müssen Anlagenbetreiber für die Betriebsbereiche, die unter die erweiterten Pflichten der StörfallV fallen, den zuständigen Behörden Informationen u.a. über die jeweiligen Anlagen mit ihren technischen Merkmalen sowie über organisatorische Strukturen des Betriebes zuleiten, damit diese ihren externen Alarm- und Gefahrenabwehrplan bzw. Katastrophenschutzplan entwickeln können. Darüber hinaus müssen von den Betreibern die Meldeverfahren nach § 19 der StörfallV berücksichtigt werden.

Ist die Verpflichtung zur Erstellung eines internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanes gegeben, so hat der Betreiber nach Anhang IV Nr. 7 auch Vorkehrungen zur Unterstützung von Abhilfemaßnahmen außerhalb des Geländes des Betriebsbereiches darin zu nennen.

Desweiteren hat ein solcher Betreiber nach Nr. 5 Vorkehrungen zur frühzeitigen Warnung der zuständigen Behörde zu treffen, die für die Einleitung der in den externen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen vorgesehenen Maßnahmen zuständig sind. Die betroffene Öffentlichkeit ist entsprechend Anhang V umfassend zu informieren.

## 10.7 Einbindung der Betreiber in die externe Gefahrenabwehrplanung in den Modellregionen

Im Allgemeinen waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen in den Modellregionen die Betreiber von Betriebsbereichen nach der StörfallV und nach § 19g WHG in externe außerbetriebliche Planungen zur Abwehr von umgebungsbedingten Gefahren (Katastrophenschutzplanung) nicht immer eingebunden.

- In Nordrhein-Westfalen haben die Gefahrenbereiche der relevanten Betriebsbereiche und Anlagen bezüglich der außerbetrieblichen Organisation zum Hochwasserschutz i.d.R. Berücksichtigung gefunden. Bezogen auf die Gefahrenquellen Erdbeben und insbesondere Bergsenkungen gelten die gleichen Maßstäbe. Allerdings ergeben sich Defizite durch nicht ausreichende Kontrolle des Oberbergamtes (Bez.Reg. Arnsberg) hinsichtlich einer fehlenden behördlichen Aufsicht in der Abstimmung der Betreiber von Anlagen mit den Bergwerksbetreibern. Die reine Betreiberabstimmung zwischen Untertagebetrieb und Übertageanlagen in NRW funktioniert entsprechend der gewonnenen Erkenntnis bei der Deutschen Steinkohle AG und der untersuchten Modellregion, dem Chemiepark Marl, in hervorragender Weise.

  Kaum oder nicht eingebunden waren in den untersuchten Modellregionen in Bezug auf den Hochwasserschutz die Betriebsbereiche in Emmerich in Nordrhein-Westfalen, die Betriebsbereiche in Bitterfeld und Schönebeck in Sachsen-Anhalt sowie die Fluorchemie in Sachsen. Im Gegensatz zu diesen Beispielen erfolgt die Abstimmung zwischen den Behörden und der Bayer Industry Services in Leverkusen in hervorragender Weise.

- In Sachsen-Anhalt erfolgte auch nach Abschluss des Umbaus der entsprechenden Organisationsstrukturen bislang keine lückenlose Einbindung auch großer Betreiber in die externe Katastrophenschutzplanung. In der Modellregion Bitterfeld waren die Betreiber zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht eingebunden, da zu dieser Zeit noch kein externer Katastrophenschutzplan – auch nicht für Hochwasser – vorlag. In Schönebeck erfolgte für die Modellregion Schirm-Hermania zum Zeitpunkt der Untersuchung ebenfalls keine Einbindung, obwohl ein externer Plan existierte.

- In Sachsen hat man aus den Erkenntnissen der Vergangenheit überregional entsprechende organisatorische Maßnahmen planerisch zum Abschluss gebracht. Die Katastrophenschutzpläne wurden durch die Landkreise bzw. kreisfreien Städte erstellt und die Betreiber zwischenzeitlich eingebunden.

## 10.8 Berücksichtigung der spezifischen Gefahrenpotenziale

Die spezifischen Gefahrenpotenziale, die aus der Handhabung oder Lagerung von gefährlichen Stoffen resultieren, werden insbesondere bei größeren Stoffmengen in den Genehmigungsunterlagen (nach BImSchG oder LWG), den Sicherheitsberichten oder Konzepten zur Verhinderung von Störfällen, den betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sowie den Katastrophenschutzplänen (soweit solche vorliegen) nach unseren Recherchen und Erkenntnissen von den zuständigen Behörden und den Betreibern bei der Notfall- bzw. Alarm- und Gefahrenabwehrplanung berücksichtigt.

Bei den untersuchten Betreibern in den Modellregionen wurden die Gefahrenpotenziale in den Betriebsanweisungen detailliert dargelegt und erforderliche Maßnahmen aufgeführt. Desweiteren sind sie in den Sicherheitsberichten und Alarm- und Gefahrenabwehrplänen im Detail auch hinsichtlich erforderlicher technischer und organisatorischer Maßnahmen abgehandelt.

## 10.9 Feststellung von gefährdeten Betriebsbereichen durch Behörden gemäß § 15 StörfallV (Dominoeffekte)

Eine Relevanz hinsichtlich der Pflichten der Behörden zur Alarm- und Gefahrenabwehrplanung könnte aus § 15 StörfallV resultieren:

***§ 15 Domino-Effekt***

Die zuständige Behörde hat gegenüber den Betreibern festzustellen, bei welchen Betriebsbereichen oder Gruppen von Betriebsbereichen auf Grund ihres Standorts, ihres gegenseitigen Abstands und der in ihren Anlagen vorhandenen gefährlichen Stoffe eine erhöhte Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von Störfällen bestehen kann oder diese Störfälle folgenschwerer sein können.

Der § 15 StörfallV dient der Umsetzung des folgenden Art. 8 der Seveso-II-Richtlinie:

*SEVESO II-Richtlinie, Artikel 8 – Domino-Effekt*

*(1) Die Mitgliedstaaten sorgen dafür, dass die zuständige Behörde unter Verwendung der von dem Betreiber gemäß den Artikeln 6 und 9 übermittelten Angaben festlegt, bei welchen Betrieben oder Gruppen von Betrieben aufgrund ihres Standorts und ihrer Nähe sowie ihrer Verzeichnisse gefährlicher Stoffe eine erhöhte Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit schwerer Unfälle bestehen kann oder diese Unfälle folgenschwerer sein können.*

*(2) Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass hinsichtlich der so ermittelten Betriebe*

*a) ein geeigneter Austausch der sachdienlichen Informationen stattfindet, damit diese Betriebe in ihrem Konzept zur Verhütung schwerer Unfälle, in ihren Sicherheitsmanagementsystemen, in ihren Sicherheitsberichten und ihren internen Notfallplänen der Art und dem Ausmaß der allgemeinen Gefahr eines schweren Unfalls Rechnung tragen könnten;*

*b) eine Zusammenarbeit betreffend die Unterrichtung der Öffentlichkeit sowie die Übermittlung von Angaben an die zuständige Behörde im Hinblick auf die Erstellung der externen Notfallpläne vorgesehen wird.*

Wie einleitend angemerkt, ist zu überlegen, ob „auf Grund ihres Standortes“ auch eine besondere Exposition gegenüber umgebungsbedingten Gefahrenquellen bedeuten könnte.

### 10.9.1 Anwendung des § 15 StörfallV

Bei einer Domino-Effektbetrachtung geht es nicht nur um eine gegenseitige Gefährdung, sondern auch um eine störfallrelevante Wechselwirkung. Hierzu hat der „Unterausschuss Anlagensicherheit“ des Länderausschusses Immissionsschutz (LAI) im Juli 2000 auf Grundlage von Empfehlungen des Technischen Ausschusses für Anlagensicherheit (TAA) Hinweise gegeben, die in Nr. 13 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV eingegangen sind [BMU, 2004]. Danach hat die zuständige Behörde zunächst zu prüfen, ob ein Domino-Effekt offensichtlich nicht ausgeschlossen werden kann. Dies ist der Fall, wenn ein Betriebsbereich mit erweiterten Pflichten, der als Auslöser eines Störfalls („Donator“) wirken kann, nicht mehr als 500 m von den Anlagen eines anderen Betriebsbereichs entfernt ist. Für Betriebsbereiche, die nur den Grundpflichten unterliegen, gilt ein Abstand von 200 m. Zu § 15 (Domino-Effekt) gibt die Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV folgende Erläuterung:

*Der Domino-Effekt setzt Wechselwirkungen zwischen benachbarten oder durch gemeinsame Einrichtungen verbundenen Betriebsbereichen voraus. Als mögliche Gefährdungsarten mit Relevanz für den Domino-Effekt kommen in Betracht:*

- *im Nahbereich: Toxizität, Druckwelle, Trümmerflug, Wärmeeintrag (durch Strahlung oder über Medien), Brandausweitung, chemische Einwirkung;*
- *im Fernbereich: Toxizität, Trümmerflug.*

*Die Wechselwirkungen zwischen Anlagen innerhalb eines Betriebsbereichs oder die Wechselwirkungen zwischen einem Betriebsbereich und einer sonstigen Anlage, die nicht Teil eines Betriebsbereiches ist, stellen keinen Domino-Effekt in Sinne der Störfall-Verordnung dar.*

*Die zuständige Behörde ist nach § 15 der Störfall-Verordnung verpflichtet, zu entscheiden, bei welchen Betriebsbereichen oder welcher Gruppe von Betriebsbereichen aufgrund von Wechselwirkungen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von Störfällen bestehen kann oder die Auswirkungen von Störfällen verstärkt werden können.*

*Bei der Beurteilung sind insbesondere zu berücksichtigen:*

*- die Bedingungen des Standortes der Betriebsbereiche,*

*- der Abstand zwischen den Betriebsbereichen und*

*- das stoffliche Gefahrenpotenzial.*

### 10.9.2 Verfahren zur Prüfung durch die Behörde

Bei der Beurteilung, ob eine Gefährdung durch einen Domino-Effekt ausgeschlossen werden kann, wird zwischen einer den Störfall verursachenden Anlage oder Tätigkeit (Donator) in einem Betriebsbereich und den hierdurch betroffenen anderen Betriebsbereichen (Akzeptor) unterschieden. Die endgültige Feststellung des Vorliegens einer erhöhten Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von Störfällen bleibt einer Einzelfallbetrachtung vorbehalten. Dabei ist in der Regel die Freisetzung, der Brand oder die Explosion der größten zusammenhängenden Menge zugrunde zu legen. Bei der Ermittlung der Auswirkungen soll das im Leitfaden SFK-GS-26 empfohlene Verfahren angewendet werden [SFK, 1999].

Die Beurteilung des Domino-Effekts erfolgt im Kontext mit den szenarischen Betrachtungen der Auswirkungen innerhalb des Betriebsbereichs und der Umgebung. Für die Feststellung des Domino-Effektes sind begründete Anhaltspunkte ausreichend, dass ein Störfall im verursachenden Betriebsbereich (Donator) zur Auslösung oder Verschlimmerung eines Störfalls im betroffenen, benachbarten Betriebsbereich (Akzeptor) führen kann. Eine lückenlose Kausalkette oder Quantifizierung der erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit ist nicht erforderlich.

### 10.9.3 Ergebnis der Untersuchung in den Modellregionen

Nach allen vorliegenden Erkenntnissen aus den betrachteten Modellregionen sowie nach den Aussagen von befragten Behörden wurden mögliche Domino-Effekte aufgrund der im Forschungsvorhaben genannten Umweltgefahren bislang nicht festgestellt. Daher war eine spezielle Abstimmung der Planung für Notfälle, der internen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne und der Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung in Bezug auf Hochwasser, Sturm und Erdbeben nach § 6 der StörfallV nicht erforderlich.

## 10.10 Vorhersage von Ereignissen, welche natürliche umgebungsbedingte Gefahren auslösen können

### 10.10.1 Verfahren und Strukturen

Generell gilt, je frühzeitiger Betreiber von Betriebsbereichen und Anlagen sowie öffentlich rechtliche und staatliche Stellen im Katastrophenschutz von umweltrelevanten Gefahren Kenntnis erhalten, umso größer sind die Chancen, sich gegen deren Einwirkungen wirkungsvoll zu wappnen.

Dies gilt gleichermaßen für die Ereignisse

- Niederschläge,
- Schneeschmelze,
- Sturm und
- Erdbeben.

Für die ersten drei Ereignisse stehen i.d.R. ausreichende meteorologische Dienste zur Verfügung, welche anhand von übergreifenden Systemen wie i.d.R. zur Verfügung stehende Doppler-Radarmessungen sowie Beobachtungen von lokalen Wetterstationen entsprechende Vorhersagen mehr oder weniger genau tätigen können. Kleinräumige Vorhersagen können nicht gesichert gegeben werden. Die Vorhersagen sind jedoch stets ausreichend exakt, wenn es sich um extremere Wetterlagen handelt. Da relevante Gefährdung i.d.R. durch extreme Wetterverhältnisse verursacht werden, kann nach heutigen Maßstäben davon ausgegangen werden, dass meteorologisch/technisch ausreichende Kenntnisse zur Vorausschau der drei erstgenannten natürlichen umgebungsbedingten Gefahren vorliegen.

Das Problem liegt z.T. in der Organisation, dem Management zur kontrollierten Erfassung und Weitergabe an jene Stellen, welche diese Informationen für ein rechtzeitiges Handeln benötigen. Der direkte Zugang für Betreiber kann i.d.R. über das Internet oder auch auf telefonischem Wege bzw. bei den jeweiligen meteorologischen Diensten, wie z.B. dem Deutschen Wetterdienst, erfolgen.

Für den Fall von Erdbebenereignissen kann in Deutschland keine Vorhersage getroffen werden. Die in Deutschland einem Erdbeben zugrunde liegenden seismischen Aktivitäten lassen sich erst dann erfassen, wenn das Ereignis bereits eingetreten ist.

Wichtige Organisationen zur Informationsbereitstellung:

- Deutscher Wetterdienst, Zentrale, Kaiserleistraße 29+35, 42+44, 63067 Offenbach
- Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Leipzig, Kärrnerstraße 68, 04288 Leipzig
- Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Essen, Wallneyerstraße 10, 45133 Essen
- meteomedia ag, Schwäbrig, CH-9056 Gais
- Seismic Data Analysis Center, Section B3.11, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover

### 10.10.2 Verfahren zur Alarmierung vor natürlichen umgebungsbedingten Gefahrenquellen

Für Gefahrenquellen Hochwasser und Sturm ist eine Alarmierung meist möglich, wobei lokale Sturzbäche sicherlich einen Grenzfall darstellen. Entsprechende Warnungen bzw. Alarmierungen erfolgen einerseits zum Teil über die vorgenannten meteorologischen Dienste - dies gilt insbesondere für Sturmwarnungen - und andererseits über die einzelnen relevanten Stellen der jeweiligen Landesumweltämter bzw. Landesämter für Umweltschutz. Hierdurch wird insbesondere § 10 Abs. 5 Umweltinformationsgesetz bzw. entsprechendes Landesrecht vollzogen.

Über die genannten Landesstellen werden insbesondere für Hochwasserereignisse detaillierte Daten zu Hochwasserständen, Fließgeschwindigkeiten als Prognosen und Ist-Zustände ermittelt und weitergegeben. Die Daten sind über die jeweiligen Internetadressen oder auch über Telefon abrufbar. Warnungen erfolgen über die verschiedenen Organisationsstrukturen der Länder an die betroffenen Betreiber.

<u>Empfehlungen</u>

Aufgrund der Erfahrungen von betroffenen Betreibern in den untersuchten Modellregionen ist zu empfehlen, sogenannte unterbrechungsfreie Standleitungen von den möglicherweise betroffenen Betreibern zu den diversen Katastrophenschutzbehörden der Länder - dies sind i.d.R. Landratsämter oder Ordnungsämter der kreisfreien Städte - oder direkt zu den übergeordneten damit befassten Landesbehörden zu installieren (ggf. gem § 12 Abs. 1 Nr. 1 StörfallV).

# 11 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

## 11.1 Gefahrenquelle Hochwasser

Zur Ableitung von Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen, die in den Kapiteln 3 – 7 bzgl. der Gefahrenquelle Hochwasser detailliert dargestellt wurden, wird zum besseren Verständnis die Gesamtproblematik des Hochwasserschutzes für Betriebsbereiche, VAwS-Anlagen und Flüssiggastanks in der **Abbildung 11.1.1** vereinfacht dargestellt.

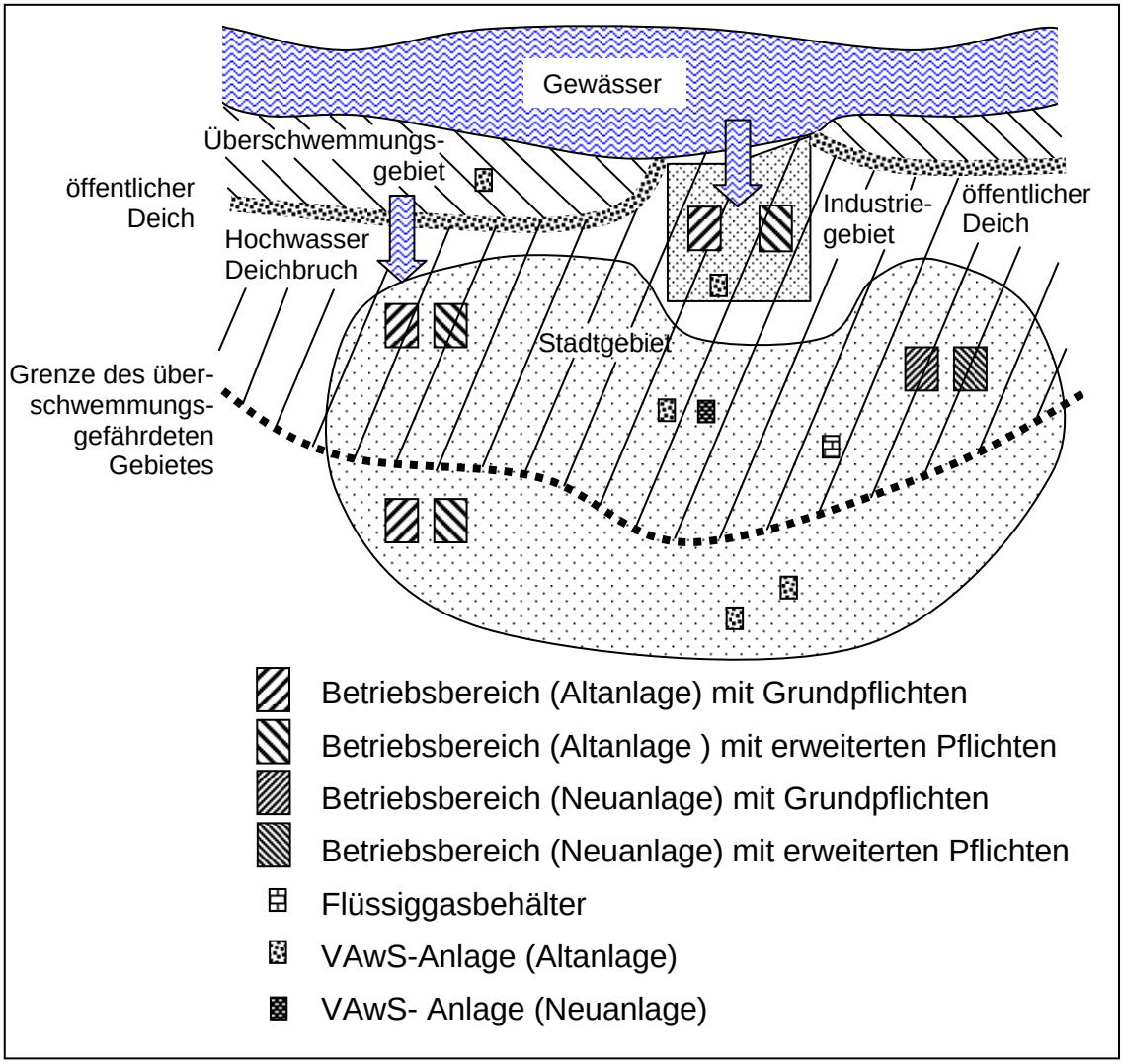



**Abbildung 11.1.1**: Schema zur Systematisierung der Gefahrenquelle Hochwasser gegenüber Betriebsbereichen und VAwS-Anlagen

In Abbildung 11.1.1 sind zunächst die Bereiche der Überschwemmungsgebiete und des überschwemmungsgefährdeten Gebietes schraffiert dargestellt. Ein öffentlicher

Deich schützt das Stadtgebiet, wobei dieser im Industriegebiet unterbrochen ist. Im Industriegebiet befinden sich ähnlich wie im Stadtgebiet Betriebsbereiche und VAwS-Anlagen, wobei in der Abbildung noch zwischen bestehenden und neuen Anlagen unterschieden wird. Darüber hinaus ist ein Flüssiggasbehälter im Stadtgebiet vorhanden, der nicht der StörfallV unterliegt. Das überschwemmungsgefährdete Gebiet wird einmal durch die Gefahr eines Deichversagens sowie unmittelbar im Bereich des Industriegebietes durch Hochwasser bedroht. Die hier dargestellte Situation ist keinesfalls fiktiv, sondern hat sich praktisch in fast allen untersuchten Modellregionen in dieser Weise dargestellt.

Wie die Analyse der Gesetze und Verordnungen sowie die Ergebnisse der Untersuchungen in den Modellregionen gezeigt haben, ergibt sich ein Handlungsbedarf zum verbesserten Hochwasserschutz für Betriebsbereiche, VAwS-Anlagen und Flüssiggastanks, der in den folgenden Abschnitten detailliert erläutert wird.

### 11.1.1 Bemessungsgrundlage für überschwemmungsgefährdete Gebiete

In der Aufgabenstellung zu diesem Forschungsvorhaben war zunächst zu prüfen, ob die verschiedenen Methoden zur Risikoklassifizierung als Grundlage für die Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten sowie für die Einhaltung bestimmter Anforderungen an Anlagen geeignet sind. Hierzu ist grundsätzlich zu bemerken, dass die Aufgabenstellung aus dem Jahre 2003 stammt, zwischenzeitlich jedoch die Novellierung des WHG im Jahre 2005 erfolgte. Wie in Kapitel 3 schon dargestellt wurde, ist mit der Novelle des WHG der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ eingeführt worden. Insofern müssen sich zukünftige Anforderungen für VAwS-Anlagen an dieser gesetzlichen Definition orientieren. Die Überlegung zur Festsetzung von Gebieten, z.B. nach dem Zonierungsmodell ZÜRS der Versicherungswirtschaft, in denen bestimmte Anforderungen an die Anlagensicherheit gelten sollen, ist somit durch die veränderten rechtlichen Grundlagen obsolet.

Während die Überschwemmungsgebiete nach § 31b WHG als Gebiete zwischen oberirdischem Gewässer und Deichen oder Hochufern definiert und mindestens auf der Basis eines $HQ_{100}$ von den Ländern festzusetzen sind, gibt das Wasserhaushaltsgesetz keine Bemessungsgrundlage für die Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten nach § 31c WHG. Das WHG leitet das überschwemmungsgefährdete Gebiet zum einen aus Hochwässern, die größer sind als ein $HQ_{100}$, oder

aus einem Versagen des Deiches ab (vgl. Abbildung 11.1.1). Ein Bemessungsansatz ist erforderlich, weil hierdurch insbesondere die rechtliche Grundlage für mögliche Anforderungen zum Schutz von VAwS-Anlagen vor Hochwasser in den überschwemmungsgefährdeten Gebieten geschaffen wird. Welche Schlussfolgerungen hieraus für Betriebsbereiche abzuleiten sind, wird in Kapitel 11.1.5 dargelegt.

Für die Festlegung der Bemessungsgrundlagen für überschwemmungsgefährdete Gebiete sind verschiedene Ansätze denkbar. Die einfachste Variante wäre ein bundeseinheitlicher Bemessungsansatz auf der Grundlage eines bestimmten Bemessungshochwassers, wie z.B. ein Pegel, der einem $HQ_{200}$ entspricht. Ein solcher Pauschalansatz würde jedoch nicht berücksichtigen, dass sich z.B. das Schadensausmaß in den Flusseinzugsgebieten unterscheidet und auch an einem Fluss in seinem Verlauf ändert. Z.B. ist das Gefährdungspotenzial an der Weser mit den dort vorhandenen großen Überschwemmungsflächen und wenigen Industrieansiedlungen geringer als dasjenige am Rhein, wo eine hohe Industriedichte vorhanden ist. Die Flusscharakteristiken sind ebenfalls sehr unterschiedlich. Da eine gleiche Jährlichkeit eines HQ nicht gleiche Überschwemmungshöhen bedeutet, die für das Schadensausmaß entscheidend sind, variiert z.B. am Niederrhein die Bemessung des technischen Hochwasserschutzes entlang des Stroms von $HQ_{100}$ bis $HQ_{500}$ (vgl. Tabelle 6.5.3.3.1). Vor diesem Hintergrund wird ein bundeseinheitlicher Pauschalansatz den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten nicht gerecht.

Auch die zwischenzeitliche Überlegung einiger Länder, einen Pauschalansatz von $HQ_{100}$ für die Ermittlung der überschwemmungsgefährdeten Gebiete anzusetzen, widerspricht somit den tatsächlichen Gegebenheiten. Weil Deiche in bestimmten Bereichen bis zu einem Schutzziel von $HQ_{500}$ schon realisiert sind, muss folglich ein Deichbruch auch für ein $HQ_{500}$ betrachtet werden. Zudem wurde ein $HQ_{100}$ während des Hochwassers 2002 an der Elbe schon überschritten.

Empfehlungen

Die Berichterstatter schlagen vor, dass ein Bereich von den Gesetzgebern festgelegt werden sollte, in dessen Grenzen die zuständigen Behörden den Bemessungsansatz zur Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten an die örtlichen Gegebenheiten anpassen können. Die untere Grenze ergibt sich nach § 31c WHG für Überschwemmungsgebiete, wonach mindestens ein $HQ_{100}$ anzusetzen ist. Daraus resultiert, dass für überschwemmungsgefährdete Gebiete mindestens ein $HQ_{100}$ an-

zusetzen ist. Zur Festlegung der oberen Grenze des Bereichs sind aus Sicht der Berichterstatter zwei Alternativen zu betrachten:

Alternative 1: Einen interessanten Ansatz bietet das Landswassergesetz von Sachsen-Anhalt. In § 98a WG LSA ist das höchste beobachtete Hochwasser zu Grunde zu legen, mindestens jedoch ein $HQ_{100}$. Aus Sicht der Gutachter wird dieser Ansatz den unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten durchaus gerecht. Die Schwäche dieser Alternative liegt jedoch darin, dass das höchste beobachtete Hochwasser keine Vorausschau von möglichen zukünftigen Ereignissen bietet. Der Blick in die Vergangenheit ersetzt nicht die Abschätzung von Ereignissen, die sich z.B. aus Veränderungen der Gewässermorphologie oder dem Klimawandel in der Zukunft einstellen.

Alternative 2: In Nordrhein-Westfalen wird, wie die Tabelle 6.5.3.3.1 verdeutlicht, ein am Schadenspotenzial angepasstes Schutzziel für öffentliche Deiche vorgegeben. Dies bedeutet, dass z.B. auf der Höhe Düsseldorf ein $HQ_{200\text{-}300}$ und auf der Höhe Emmerich ein $HQ_{500}$ angesetzt wird. Diese Schutzziele könnten auch für die Ableitung der oberen Grenzen überschwemmungsgefährdeter Gebiete genutzt werden.

Die Berichterstatter empfehlen daher zur Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten entsprechend der Alternative 2 einen Bemessungsansatz auf der Basis der Schutzziele für öffentliche Deiche zu wählen, mindestens jedoch ein $HQ_{100}$. Den Berichterstattern ist dabei bewusst, dass damit z.B. am Niederrhein große Flächen erfasst werden. Bei der Diskussion über diesen Vorschlag ist zu berücksichtigen, dass für NRW ein Kartenmaterial für überschwemmungsgefährdete Gebiete erarbeitet wurde (Stand 2003), das landesweit für ein $HQ_{100}$, für den Rhein jedoch auf Basis eines $HQ_{500}$ ermittelt wurde [www.lua.nrw.de]. Ähnliches hat die IKSR mit dem Rheinatlas vorgelegt. Insofern werden mit dem in diesem Bericht vorgeschlagenen örtlich angepassten Bemessungsansatz die betroffenen Flächen gegenüber den in den schon vorliegenden Karten für den Rhein erheblich verkleinert.

Der mit diesem Forschungsvorhaben unterbreitete Vorschlag zur Ermittlung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten ist somit die konsequente Schlussfolgerung aus den rechtlichen Vorgaben und des in der Praxis realisierten Hochwasserschutzes für öffentliche Deiche. Mit dem Vorschlag wird eine an das Gefährdungspotenzial angepasste gebietsbezogene Differenzierung vorgenommen. Aus Sicht der Berichterstatter entsprechen die vorgeschlagenen Ansätze zur Festsetzung der über-

schwemmungsgefährdeten Gebiete dem Grundsatz der Risikoproportionalität. In der Praxis wird mit der Festlegung des Schutzziels für öffentliche Deiche eine solche gebietsbezogene Differenzierung schon lange vorgenommen.

Neben der Festlegung eines Bemessungshochwassers ist auch die Methodik zur Ermittlung der Pegelstände vor Ort im Falle eines Deichbruchs von entscheidender Bedeutung für die Größe der überschwemmungsgefährdeten Gebiete. Hierzu gibt es zwei Varianten:

Variante A) Die einfachste Variante ergibt sich aus dem Bemessungshochwasser in $m^3$/sec in Verbindung mit der örtlichen Flussmorphologie. Beide Faktoren bestimmen den örtlichen Pegelstand der Hochwasserwelle. Die horizontale Verschneidung dieser Pegelhöhe mit dem Gelände hinter den öffentlichen Schutzeinrichtungen ergibt die Fläche des überschwemmungsgefährdeten Gebietes (vgl. Kapitel 5.3; Abbildung 5.3.3). Diese Methodik zur Bestimmung der betroffenen Fläche ist relativ einfach. Sie kommt der Realität dann sehr nahe, wenn ein Deichbruch bei Bemessungshochwasser nur geringe Wirkung auf den Pegel des Hochwassers hat. Eine deutliche Überschätzung ist nur dann gegeben, wenn die Entlastung durch den Deichbruch eine Absenkung des Hochwasserpegels bewirken würde. Genau dieser Fall, wird bei der Variante B berücksichtigt.

Variante B) Bei dieser Variante wird die tatsächliche Wirkung eines Deichbruchs auf die Pegelhöhe in jedem Flussabschnitt bei dem jeweiligen Bemessungshochwasser bestimmt. Die horizontale Verschneidung der auf diese Weise ermittelten Pegelhöhe mit dem Gelände ergibt wiederum die Fläche des überschwemmungsgefährdeten Gebietes. Diese Variante ist sehr viel aufwendiger, da sie einer Modellierung für den jeweiligen Flussabschnitt bedarf. An dieser Stelle wird auf verschiedene Projekte verwiesen, bei denen die überschwemmungsgefährdeten Gebiete auf diese Weise ermittelt werden [Büchele, 2006].

Soll eine Obergrenze für die Festlegung überschwemmungsgefährdeter Gebiete gemäß § 31c WHG festgesetzt werden, so bietet sich die Variante A an, da sie einfacher und konservativ ist. Den Wasserbehörden (und ggf. den Betreibern) kann ermöglicht werden, engere Grenzen von überschwemmungsgefährdeten Gebieten festzusetzen bzw. anzunehmen, wenn diese im Einzelnen nach Variante B ermittelt wurden (Einzelfallnachweis).

### 11.1.2 Anpassung der Landeswassergesetze an das WHG

Der weitere Handlungsbedarf für den Gesetzgeber ergibt sich aus der notwendigen Anpassung der Landeswassergesetze an das WHG. Im Einzelnen wird dieser Handlungsbedarf der Länder wie folgt zusammengefasst:

NRW Im Mai 2005 wurde das Landeswassergesetz NRW geändert, wobei immer noch auf den alten § 32 des WHG in der Fassung vom 19.8.2002 Bezug genommen wird. Den Begriff des „überschwemmungsgefährdeten Gebietes“ kennt auch das neue Landeswassergesetz von Nordrhein-Westfalen nicht [LWG-NRW, 2005]. Insofern ist eine Anpassung des Landeswassergesetzes an das WHG erforderlich.

Sachsen-Anhalt Das neue Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt [WG LSA, 2005] nimmt in § 98a Abs. 1 noch Bezug auf den alten § 32 WHG [WHG, 2002] und muss hier noch einmal überarbeitet werden. Der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ wurde eingeführt, wobei in § 98a Abs. 2 die möglichen Ursachen einer Überflutung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten genannt werden. Neben dem Deichbruch wird das „Öffnen eines Deiches“ genannt, was jedoch nicht näher präzisiert wird. Ob damit die Öffnung von Flutungspoldern oder die gezielte Sprengung von Deichen, wie sie zur Entlastung der Elbe im August 2002 durchgeführt wurden, gemeint ist, bleibt unklar. Die Klärung dieser Frage ist nach Auffassung der Berichterstatter allein schon aus versicherungsrechtlichen Gründen bedeutsam.

Für die Zulassung von Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten ist nicht nur die Überschwemmungsgefährdung, sondern auch das sich bei Hochwasser möglicherweise bildende Qualm- und Drainagewasser zu berücksichtigen. Damit werden in § 98a WG LSA folgende drei neue Begriffe eingeführt, die es weder im WHG noch in den anderen untersuchten Landeswassergesetzen gibt:

- Öffnen eines Deiches
- Qualmwasser
- Drainagewasser

Für die Genehmigungs- und Überwachungsbehörden erscheint es somit notwendig, diese Begriffe näher zu erläutern und deren Folgen für Anla-

gengenehmigungen z.B. in Form einer Verwaltungsvorschrift darzulegen. Erst dann wird erkennbar, welche Auswirkungen diese drei Begriffe auf den Bau und Betrieb von Anlagen in der Praxis haben.

Sachsen Im Freistaat Sachsen wurden im Sächsischen Wassergesetz [SächsWG, 2004] vom 18.10.2004 die rechtlichen Bestimmungen der §§ 31b und c der zu diesem Zeitpunkt noch nicht rechtskräftigen WHG-Novelle vom 3. Mai 2005 im § 100 des sächsischen Wassergesetzes (SächsWG) umgesetzt, wobei die Bezüge zum neuen WHG angepasst werden müssen.

Das Landeswassergesetz des Freistaates Sachsen fordert nicht nur für Überschwemmungsgebiete, sondern auch für Gebiete, die durch Versagen eines Deiches überschwemmt werden können, geeignete bautechnische Maßnahmen, um die Freisetzung wassergefährdender Stoffe zu verhindern. Der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ wird im Landeswassergesetz nicht direkt eingeführt. Es erscheint sinnvoll, eine klare Unterscheidung zwischen „Überschwemmungsgebieten“ einerseits und „überschwemmungsgefährdeten Gebieten“ andererseits im Sinne des WHG vorzunehmen.

### 11.1.3 Überarbeitung der Anforderungen an VAwS-Anlagen

Mit der Änderung des Grundgesetzes im Jahre 2006 sind die Kompetenzen zur Formulierung von Anforderungen an VAwS-Anlagen an den Bund übertragen worden. Sollte der Bund sein Recht ausüben, hat eine bundeseinheitliche VAwS-Anlagenverordnung u.a. die Vorgaben des § 31b WHG zu berücksichtigen, der folgende 3 Elemente enthält:

- hochwassersichere Errichtung von neuen Ölheizungsanlagen
- Nachrüstung von vorhandenen Ölheizungsanlagen
- Verbot der Errichtung neuer Heizölanlagen, soweit zur Schadenverminderung erforderlich.

Solange jedoch der Bund keine neue VAwS-Anlagenverordnung verabschiedet, gelten nach wie vor die VAwS-Anlagenverordnungen der Länder. Aus den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen ergeben sich folgende Vorschläge zur Anpassung der Anlagenverordnungen der Länder an die Vorgaben des WHG:

1. Hochwassersichere Errichtung von neuen Ölheizungsanlagen

Die bislang gestellten Anforderungen an Anlagen in Überschwemmungsgebieten sollten nach Auffassung der Berichterstatter erweitert werden. Grundlage hierfür sind die Empfehlungen der Flussgebietskommissionen IKSE und IKSR, die speziell für die Lagerung von wassergefährdenden Stoffen im Hochwasserfall erarbeitet wurden. Wie die Gegenüberstellung der VAwS-Anlagenverordnungen mit den Empfehlungen der IKSE ergeben hat (Tabelle 3.5.5.1), gehen die Empfehlungen der IKSE teilweise wesentlich weiter bzw. sind konkreter als die Anlagenverordnungen der Länder. Die Empfehlungen der IKSE umfassen nicht nur die bautechnischen Anforderungen, sondern auch Maßnahmen im Hochwasserfall, wie z.B. das Entleeren von offenen Behältern. Darüber hinaus zeigt der Vergleich, dass bestimmte Anforderungen in den einzelnen Anlagenverordnungen der Länder nicht konkretisiert sind.

Aus Sicht der Berichterstatter können Informationsblätter, wie z.B. das Informationsblatt Nr. 6 „Anforderungen an Anlagen in Überschwemmungsgebieten“ vom Juni 2001 des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie [LfUG, 2001] eine Fortschreibung der VAwS nicht ersetzten, weil sie keine Verbindlichkeit für die Anlagenbetreiber haben.

2. Nachrüstung von vorhandenen Heizölanlagen

Die bisherigen Regelungen zur Durchsetzung neuer Anforderungen für bestehende Anlagen sind in den einzelnen Ländern unterschiedlich:

NRW In der Anlagenverordnung von Nordrhein-Westfalen ist in § 17 der Bestandsschutz von Anlagen so geregelt [VAwS NRW, 2004], dass mit der Novellierung der VAwS neue Anforderungen gestellt werden können, diese jedoch erst aufgrund einer behördlichen Anordnung für bestehende Anlagen gelten (Ausnahme: neu begründete Prüfpflichten; gilt insbesondere für Lagertanks mit 10 – 40 m³). Die Stilllegung einer rechtmäßig bestehenden Anlage kann jedoch nicht verlangt werden. Die Durchsetzung neuer Anforderungen an bestehende Anlagen wird damit für die Behörden erschwert, wenn nicht sogar unmöglich gemacht (Ausnahme: Anlagen mit gefährlichen Mängeln). Daher erscheint es den Berichterstattern notwendig, den

Satz bzgl. der Stilllegung von rechtmäßig bestehenden Anlagen zu streichen.

Sachsen-Anhalt

Die VAwS LSA (2006) enthält in § 24 grundsätzlich analoge Regelungen. Allerdings kann nach § 24 Abs. 6 die Wasserbehörde verlangen, dass rechtmäßig bestehende Anlagen oder Anlagen, mit deren Aufstellung oder Einbau begonnen worden ist, den Anforderungen dieser Verordnung angepasst werden, wenn

- bei begonnenen Anlagen Änderungen noch mit einem verhältnismäßigen Aufwand möglich sind,
- der Betreiber seine Anlage wesentlich ändert oder
- örtliche Gründe nach § 7 Abs. 1 die Anpassung erfordern.

An der Grundproblematik, dass neue Regelungen für Betreiber erst aufgrund von Einzelanordnungen zur Pflicht werden und bestehende Anlagen nicht stillgelegt werden können, ändert dieser Abs. 6 jedoch nichts. Er konkretisiert lediglich die Grundlage derartiger Anordnungen. Dies kann einerseits eine Einschränkung sein, andererseits gibt Option 3 mit Verweis auf § 7 (weitergehende Anforderungen) insbesondere eine Rechtsgrundlage in Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten über die allgemeinen Anforderungen hinausgehende Anforderungen zu stellen.

Sachsen

In der SächsVAwS erfolgt bzgl. unmittelbarer Betreiberpflichten bei bestehenden Anlagen aufgrund von Änderungen der Verordnung einer Zweiteilung. Neue Anforderungen nach § 3 Abs.6, §§ 6, 8, 9, 11 und 21 (organisatorische Betreiberpflichten handelt z.B. Alarmplan) sind gem. § 25 Abs. 1 innerhalb von zwei Jahren nach Inkraftreten der geänderten Verordnung zu erfüllen. Für andere Anforderungen bedarf es wie in NRW und Sachsen-Anhalt einer behördlichen Anordnung, die jeweils Einzelfallprüfungen voraussetzt.

Nach § 25 Abs. 4 kann die Stilllegung oder Beseitigung einer rechtmäßig bestehenden oder begonnenen Anlage nicht gefordert werden.

Im Ergebnis ist die Durchsetzung neuer Anforderungen an die Technik von Anlagen ähnlich wie in NRW und Sachsen-Anhalt erschwert.

Empfehlungen

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die Regelungen in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich sind. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Vollzugsbehörden aufgrund des seit Jahren durchgeführten Personalabbaus kaum noch in der Lage sind, auf der Basis von Einzelfallentscheidungen neue Anforderungen durch eine behördliche Anordnung durchzusetzen, empfehlen die Berichterstatter, die Information der Betroffenen über neue Betreiberpflichten sowie die Prüfung der Einhaltung neuer rechtlicher Anforderungen durch Sachverständige im Rahmen von wiederkehrenden Prüfungen vornehmen zu lassen.

### 11.1.4 Anforderungen an VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten sowie Aspekte eines Deichversagens

Nach § 31b WHG wird bestimmt, dass der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Überschwemmungsgebieten zu regeln ist. Die Berichterstatter halten es für sinnvoll, für mögliche Anforderungen an VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten eine analoge Formulierung in § 31c WHG einzufügen.

Für die Diskussion über mögliche Anforderungen wird noch einmal kurz die rechtliche Ausgangssituation dargestellt. Nach § 31c WHG sind „überschwemmungsgefährdete Gebiete“ Flächen, die *bei Versagen von öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen, insbesondere Deiche, überschwemmt werden können*.

Danach können im Wesentlichen zwei Ereignisse das Versagen von öffentlichen Deichen verursachen. Dies sind

1. der Deichbruch und
2. die Überspülung eines Deiches.

Für mögliche Anforderungen an VAwS-Anlagen werden beide Szenarien näher betrachtet. Hierbei stehen zunächst nur die technischen Maßnahmen im Vordergrund der Betrachtung. Anschließend werden die möglichen organisatorischen Maßnahmen für beide Ereignisse diskutiert.

Deichbruch

Im WHG sowie in den Landeswassergesetzen ist der Deichbruch ein Szenarium, das eine Grundlage zur Festsetzung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten bildet. Das WHG differenziert dabei nicht nach Art, Aufbau und Zustand des Deiches. Im Falle eines Deichbruchs sind die VAwS-Anlagen vor und hinter dem Deich der gleichen Gefahr ausgesetzt. Für einen optimalen Schutz der Anlagen müssten konsequenterweise die Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten das gleiche sicherheitstechnische Niveau haben, das für Anlagen in Überschwemmungsgebieten gefordert wird. Die Anforderungen an VAwS-Anlagen müssten für überschwemmungsgefährdete Gebiete somit die gleichen sein, wie sie für Anlagen in Überschwemmungsgebieten gelten. Das Beispiel Dessau-Waldersee kann als Beweis für eine solche Schlussfolgerung herangezogen werden. Aber gerade dieses Beispiel zeigt auch, dass dieser Deichbruch, wie auch alle anderen an der Elbe im Jahre 2002, vor allem dadurch entstand, weil die Deichqualität im Jahre 2002 mangelhaft war und der Aufbau nicht der DIN 19712 „Flussdeiche“ entsprach.

Nachdem nunmehr der Deich entsprechend der DIN erneuert und erhöht wurde, ist die Gefahr eines Deichbruchs deutlich herabgesetzt worden und tendiert nach Auffassung von Fachleuten daher gegen Null. Somit stellt sich die Frage, ob nach Abschluss dieser Baumaßnahmen noch die gleichen Anforderungen zu stellen sind, wie sie für VAwS-Anlagen in Überschwemmungsgebieten gelten. So wird in der Diskussion über mögliche Anforderungen die gegenteilige Auffassung vertreten, dass in überschwemmungsgefährdeten Gebieten überhaupt keine technische Anforderungen gestellt werden müssen, sofern die öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen der DIN 19 712 entsprechen.

Einig in der Diskussion über mögliche Anforderungen sind sich die Fachleute darin, dass das unterschiedliche Gefährdungspotenzial vor und hinter dem Deich

bei der Festschreibung von möglichen Anforderungen zu berücksichtigen ist, wobei das Gefährdungspotenzial von der Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs und damit von der Qualität eines Deiches abhängt. Zur Verdeutlichung der Komplexität dieser Thematik werden an dieser Stelle nur einige Einflussfaktoren aufgelistet, die die Standfestigkeit eines Deiches beeinflussen:

- Untergrundverhältnisse
- Profil
- Baumaterial
- Dauer der Belastung während eines Hochwasserereignisses
- Durchfeuchtung während der Einstauzeit
- Strömungsdruck
- Eisgang
- Rissbildung bei Trockenzeiten
- Beschädigung durch Wurzelwerk
- Beschädigung durch Nagetierbefall

Die derzeit einzige für den Gesetzgeber belastbare Unterscheidung besteht nur zwischen DIN-gerechten Deichen und Deichen, die nicht der DIN 19 712 entsprechen (Altdeiche). Das Risiko eines Deichbruchs ist, wie die letzten großen Hochwasserereignisse gezeigt haben, bei einem Altdeich wesentlich größer als bei einem DIN-gerechten Deich. Wie die Praxis aber auch gezeigt hat, haben 2002 etliche Altdeiche den Belastungen standgehalten. Will man dieser Tatsache gerecht werden, müssten Anforderungen für Gebiete hinter Altdeichen in Abhängigkeit von der Deichqualität festgesetzt werden. Hierbei kann die Deichqualität nur nach einer Einzelfallprüfung bewertet werden.

Derzeit wird in einem BMBF-Verbundvorhaben[14] untersucht, ob die Standfestigkeit von Altdeichen messtechnisch erfasst werden kann. Als wesentlicher Parameter, der die Standfestigkeit beeinflusst, wird die Durchfeuchtung des Deiches während eines Ereignisses angenommen und gemessen. Hintergrund der Untersuchungen ist, dass die Ertüchtigung von Altdeichen hohe Investitionen erfordert und über viele Jahre andauern wird. Daher sollen im Sinne einer Prioritätenliste diejenigen Altdeiche vorrangig saniert werden, deren Standfestigkeit stark gefährdet ist. Möglicherweise ergeben sich aus den Untersuchungen auch Ergebnisse, die für die hier behandelte Thematik von Nutzen sein können. Weil das

[14] BMBF-Verbundvorhaben: rimax; Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse, Teilvorhaben: Bewertung und Prognose der Standsicherheit von Hochwasserschutzdeichen durch Monotoring mittels Time Domain Refectometry (TDR)

Verbundvorhaben noch bis zum Jahre 2008 läuft, liegen jedoch bislang keine abschließenden Ergebnisse vor.

Unabhängig aller messtechnischen Details und mathematischer Modellierungen ist festzustellen, dass die Ertüchtigung von Altdeichen eine Funktion der Zeit ist. Beispielsweise wurden in Sachsen-Anhalt mittlerweile die Hälfte aller Deiche nach den Vorgaben der DIN 19 712 saniert. Es kann davon ausgegangen werden, dass in einigen Jahrzehnten eine Unterscheidung zwischen DIN-gerechten Deichen und Altdeichen nicht mehr erforderlich ist.

Ein weiteres Problem ergibt sich bei der Formulierung von Anforderungen in Abhängigkeit von der Deichqualität. Im Rahmen der Aufgabenstellung war zu prüfen, ob - sofern möglich - risikoproportionale Anforderungen gestellt werden können. Dies können technische aber auch organisatorische Anforderungen sein.

Wie die Untersuchungen in den Modellregionen gezeigt haben, wird bei den technischen Maßnahmen primär immer eine trockene Vorsorge angestrebt. Damit beschränkt sich die Differenzierung der technischen Maßnahmen allein auf die Höhe des örtlichen Bemessungswasserstandes. Das Eindringen von Wasser über Kanalsysteme oder Rohrleitungen muss in jedem Falle verhindert werden.

Bei der nassen Vorsorge sind z.B. Heizöltanks grundsätzlich gegen Aufschwimmen zu sichern. Eine hochwassersichere Ausführung bedeutet eine Auslegung gegen die vollständige Überspülung des Tanks. In der TRbF 20, der TRbF 40 sowie der TRD 452 – Anlagen 1 und 2 wird eine 1,3-fache Sicherheit gegen Auftrieb des leeren Tanks vorgeschrieben, wobei der höchste zu erwartende Wasserstand zu berücksichtigen ist. Diese Regelwerke gehen somit vom maximal zu erwartenden Wasserstand aus und differenzieren nicht nach unterschiedlichen Bemessungshochwässern. Nach diesem Kriterium werden die Tanks auslegt und installiert. Die Industrie bietet keine Tanks an, die nur ein „bisschen“ gegen Aufschwimmen gesichert sind.

Aus den Untersuchungen in den Modellregionen sowie aus den Darlegungen des Standes der Technik ergibt sich somit, dass die Technik keine gestaffelten Maßnahmen kennt. Daher ist eine risikoproportionale Auslegung einer Anlage technisch nicht möglich. Entweder sie ist hochwassersicher oder sie ist es nicht.

Überspülung eines Deiches

Die Überspülung eines Deiches ist dann gegeben, wenn im Hochwasserfall die Hochwasserwelle höher als die Deichkrone ist. Das Gefährungpotenzial für VAwS-Anlagen hängt nunmehr von der Höhe des Deiches ab und nicht mehr von der Deichqualität. Somit besteht mit der Deichhöhe ein eindeutiges und nachvollziehbares Kriterium zur Formulierung von Anforderungen. Je geringer die Jährlichkeit des Bemessungshochwassers für die Auslegung der Deiche angesetzt wird, desto geringer ist die Gefahr einer Überflutung der überschwemmungsgefährdeten Gebiete. Dieser einfache und pragmatische Ansatz bildete die Grundlage der VAwS-Anlagenverordnung des Landes Baden-Württemberg vom 11. Nov. 2005 für Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten.

Die technischen Anforderungen sind in § 10 Abs. 4 VAwS BW formuliert. Danach sind die Anlagen infolge Hochwassers gegen

- Auftrieb,
- Überflutung oder
- Beschädigung durch Treibgut

zu sichern. Diese Anforderungen berücksichtigen somit ebenfalls die Erkenntnis, dass technisch keine Stufung des Standes der Technik zur Hochwassersicherung von VAwS-Anlagen möglich ist. Die Risikoproportionalität wird in der VawS des Landes Baden-Württemberg durch einen ganz anderen Ansatz erreicht. Die VAwS verknüpft das Gefährdungspotenzial, das sich aus der Wassergefährdungsklasse des jeweiligen Stoffs und seiner gelagerten oder gehandhabten Menge ergibt, mit einer jeweils anzusetzenden Jährlichkeit von Hochwasserereignissen.

In § 6 der VAwS wird zunächst das Gefährdungspotenzial in Gefährdungsstufen eingeteilt. Die Gefährdungsstufe einer Anlage bestimmt sich nach der Wassergefährdungsklasse (WGK) der in der Anlage enthaltenen Stoffe und deren Volumen oder Masse nach Maßgabe der **Tabelle 11.1.4.1**.

**Tabelle 11.1.4.1**: Ermittlung der Gefährdungsstufen

| | WGK | | |
|---|---|---|---|
| Volumen in $m^3$ bzw. Masse in t | 1 | 2 | 3 |
| bis 0,1 | Stufe A | Stufe A | Stufe A |
| mehr als 0,1 bis 1 | Stufe A | Stufe A | Stufe B |
| mehr als 1 bis 10 | Stufe A | Stufe B | Stufe C |
| mehr als 10 bis 100 | Stufe A | Stufe C | Stufe D |
| mehr als 100 bis 1000 | Stufe B | Stufe D | Stufe D |
| mehr als 1000 | Stufe C | Stufe D | Stufe D |

Das Gefährdungspotenzial hängt insbesondere ab vom Volumen der Anlage und der Gefährlichkeit der in der Anlage vorhandenen wassergefährdenden Stoffe sowie der hydrogeologischen Beschaffenheit und Schutzbedürftigkeit des Aufstellungsortes. Bei flüssigen Stoffen ist das Volumen, bei gasförmigen und festen die Masse anzusetzen. Für Anlagen mit Stoffen, deren WGK nicht sicher bestimmt ist, wird die Gefährdungsstufe nach WGK 3 ermittelt.

In § 10 Absatz 4 verknüpft die VAwS des Landes Baden-Württemberg die Gefährdungsstufen mit unterschiedlichen Bemessungshochwässern in folgender Weise:

*(4) Gegen das Austreten von wassergefährdenden Stoffen infolge Hochwassers, insbesondere durch Auftrieb, Überflutung oder Beschädigung durch Treibgut müssen gesichert sein:*

1. *Anlagen in Überschwemmungs- und hochwassergefährdeten Gebieten, für die keine oder geringere als gegen fünfzigjährliche Hochwasserereignisse erforderliche Schutzmaßnahmen bestehen,*

2. *Anlagen der Gefährdungsstufe B, C und D nach § 6 Abs. 3 in Überschwemmungs- und hochwassergefährdeten Gebieten, für die Schutzeinrichtungen gegen ein fünfzigjährliches bis zu einem geringer als hundertjährlichem Hochwasserereignis bestehen, im Falle der Neuerrichtung oder der wesentlichen Veränderung,*

3. *Anlagen der Gefährdungsstufe D in Überschwemmungs- und hochwassergefährdeten Gebieten, für die Schutzeinrichtungen gegen ein*

*mindestens hundertjährliches Hochwasserereignis bestehen, im Falle der Neuerrichtung.*

Die VAwS wählt letztlich aus, welche Anlagen in Abhängigkeit von der Deichhöhe, gegen Hochwasser zu schützen sind. Mit zunehmendem Hochwasserschutz durch öffentliche Deiche konzentrieren sich die Anforderungen auf Anlagen mit dem höchsten Gefährdungspotenzial. Für diese Anlagen ist der Stand der Technik zum Hochwasserschutz anzuwenden. Die Risikoproportionalität ergibt sich aus der Gefährlichkeitsstufe der Anlage und nicht aus gestuften Anforderungen an den Stand der Technik.

Diskussion organisatorischer Maßnahmen bei Deichbruch oder -überspülung

In der VAwS von Baden-Württemberg kann der Betreiber die Anforderungen auch dadurch erfüllen, *„dass er geeignete technische, organisatorische oder bauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz seines Gebäudes, seines Betriebes oder Betriebsgeländes durchführt. Die Maßnahmen sind in einem schriftlichen Konzept darzustellen, das auch Angaben über den Zeitraum der Umsetzung der Maßnahmen enthalten soll“.*

Damit werden organisatorische Maßnahmen den technischen Anforderungen gleichgesetzt, wenn diese als geeignet zum Hochwasserschutz bewertet werden. Hierzu ist ein schriftliches Konzept vorzulegen. Hinweise auf „geeignete“ organisatorische Maßnahmen gibt die VAwS selbst nicht. Wie die Untersuchungen in den Modellregionen ergeben haben, sind u.a. folgende organisatorische Maßnahmen Stand der Technik:

- Auslagerung von Chemikalien
- Beschaffung der logistischen Kapazitäten
- Ermittlung und Bereitstellung von geeigneten Flächen bzw. Lägern außerhalb des überschwemmungsgefährdeten Gebietes
- Entleerung von Tanks und anschließende Füllung mit Wasser

Alle organisatorischen Maßnahmen setzen eine ausreichende Vorwarnzeit voraus. Diese ist in flacheren Regionen grundsätzlich eher gegeben als in Flusseinzugsgebieten mit größerem Gefälle. Aus den Erfahrungen, insbesondere nach dem Hochwasser 2002 an der Elbe mit ihren Nebenflüssen, wurden die Systeme zur Vorwarnung der Bevölkerung erheblich weiter entwickelt, so dass allein durch eine präzisere

Wettervorhersage mit den entsprechenden Unwetterwarnungen die Vorwarnzeit für alle Regionen in Deutschland verlängert werden konnte (vgl. Kapitel 5.7).

Die Überspülung der öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen ist heutzutage kein Ereignis mehr, dass in Deutschland unerwartet eintritt. Aufgrund eines dichten Systems von Pegelmessungen (vgl. Abbildung 5.7.2) und modernsten Abflussberechnungen kann für nahezu alle bedeutenden Flüsse in Deutschland die Gefahr einer Überspülung der Hochwasserschutzeinrichtungen vorher gesagt werden. Somit kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Vorwarnzeit gegeben ist.

Die Vorhersage eines Deichbruchs ist dagegen nur dann möglich, wenn bei längeren Hochwasserereignissen die ständigen Deichprüfungen zeigen, dass infolge einer zunehmenden Durchfeuchtung die Standsicherheit des Deiches nicht mehr gegeben ist. In allen anderen Fällen (Beschädigung, Rissbildung usw.) ist die Vorhersage eines Deichbruchs praktisch nicht möglich. Somit kann für den Fall eines Deichbruchs nicht von einer grundsätzlich ausreichenden Vorwarnzeit ausgegangen werden. Weil, wie zuvor schon eingehend dargelegt wurde, für im tatsächlichen Zustand DIN-gerechte Deiche die Gefahr eines Deichbruchs als gering eingeschätzt wird, gilt die Aussage einer nicht ausreichenden Vorwarnzeit nur für die nicht DIN-gerechten Deiche.

Organisatorischen Betreibermaßnahmen für den Fall eines Deichbruchs oder einer Deichüberspülung bedürfen zur Prüfung und Abstimmung mit den Katastrophenschutzplänen der Behörden einer Darlegung in einem schriftlichen Konzept bzw. in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan.

Empfehlungen

Fasst man alle zuvor erläuterten Überlegungen zusammen, ergeben sich die in der **Tabelle 11.1.4.2** aufgelisteten technischen und organisatorischen Anforderungen in Abhängigkeit des jeweils zu betrachtenden Szenariums.

**Tabelle 11.1.4.2** Vorschlag für Anforderungen an VAwS-Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten im Falle von Deichbrüchen und Deichüberspülungen

| Szenarium „Deichbruch“ | Szenarium “Überspülung“ |
|---|---|
| Konkretisierung des Standes der Technik für Überschwemmungs- und überschwemmungsgefährdete Gebiete analog den Empfehlungen der IKSE | Konkretisierung des Standes der Technik für Überschwemmungs- und überschwemmungsgefährdete Gebiete analog den Empfehlungen der IKSE |
| Anforderungen in Abhängigkeit von der Deichqualität (risikoproportionale Anforderungen)<br><br>▪ Deiche nach DIN 19 712:<br>keine technischen und organisatorischen Anforderungen an VAwS-Anlagen<br><br>▪ Deiche, die nicht der DIN 19712 entsprechen:<br>Keine Sicherheit des Deiches entsprechend dem Stand der Technik vorhanden, daher technische Anforderungen an VAwS-Anlagen analog den Anforderungen, wie sie auch für Anlagen in Überschwemmungs gebieten gelten | Anforderungen in Abhängigkeit vom Bemessungshochwasser sowie der Gefahrenstufe analog VAwS BW (risikopropotionale Anforderungen)<br><br>Der Stand der Technik kann auch durch geeignete org. Maßnahmen erfüllt sein, wie z.B.:<br>▪ Auslagerung von Chemikalien<br>▪ Beschaffung der logistischen Kapazitäten<br>▪ Ermittlung und Bereitstellung von geeigneten Flächen bzw. Lägern außerhalb des überschwemmungsgefährdeten Gebietes<br>▪ Entleerung von Tanks und anschließende Füllung mit Wasser<br><br>Voraussetzungen für die Gleichwertigkeit der organisatorischen Maßnahmen:<br>▪ ausreichende Vorwarnzeit<br>▪ Darlegung in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan |

Für beide Szenarien müssen zunächst die technischen Anforderungen nach dem Stand der Technik an den Hochwasserschutz für VAwS-Anlagen definiert werden. Als Grundlage hierfür sind die Empfehlungen der IKSE heranzuziehen, wie sie in Tabelle 3.5.5.1 zusammengestellt sind. Danach ist zu klären, für welche Anlagen bzw. bei welchen Randbedingungen diese Anforderungen anzuwenden sind. Deshalb wird im Falle des „Deichbruchs“ zwischen DIN-gerechten Deichen und nicht DIN-gerechten Deichen unterschieden. Weil davon ausgegangen werden kann, dass die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs für Deiche nach DIN 19 712 gering ist und das Restrisiko toleriert werden kann, sind konsequenterweise keine technischen und organisatorischen Maßnahmen für VAwS-Anlagen hinter einem solchen Deich erforderlich.

Anders sieht dies bei nicht DIN-gerechten Deichen aus. Weil im Falle eines Deichbruchs kein Hochwasserschutz besteht, müssen die gleichen Anforderungen an Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten gelten, wie sie auch für Anlagen in Überschwemmungsgebieten gelten. Der Stand der Technik zum Hochwasserschutz ist für alle VAwS-Anlagen anzuwenden. Aufgrund der nicht immer gegebenen ausreichenden Vorwarnzeit können organisatorische Maßnahmen als Ersatz für technische Maßnahmen nicht als gleichwertig angesehen werden.

Für das Szenarium „Überspülung“ können die technischen Anforderungen analog der VAwS des Landes Baden-Württemberg in Abhängigkeit von der Gefahrenstufe der Anlage und des jeweils anzusetzenden Bemessungshochwassers gestellt werden, wobei auch hier der Stand der Technik durch gleichwertige organisatorische Maßnahmen sicher gestellt werden kann, was der Anlagenbetreiber für eine betroffene Anlage entsprechend der Gefahrenstufe nachzuweisen hat. Voraussetzungen für die Anerkennung der organisatorischen Maßnahmen als „geeignet“ sind nach Auffassung der Berichterstatter:

1. eine ausreichende Vorwarnzeit
2. eine schriftliche Darlegung in einem Konzept bzw. in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan

Die hier zusammengefassten technischen Anforderungen ergeben sich aus der Analyse beider Szenarien. Weil im Falle der „Überspülung“ eines Deiches schon eine VAwS eines Bundeslandes vorliegt und angewendet wird, bleibt zu klären, ob die möglichen Anforderungen für den Fall des „Deichbruchs“ in der Praxis vollzogen werden können. Schwierigkeiten ergeben sich beispielsweise für Gebiete, die teils durch DIN-gerechte Deiche und teils durch Altdeiche geschützt werden.[15]

Grundsätzlich ist festzustellen, dass Anforderungen, die an private und gewerbliche Anlagen in Abhängigkeit von der Qualität öffentlicher Deiche festgelegt wurden, ein erhebliches Konfliktpotenzial in sich bergen, weil die betroffenen Anlagenbetreiber in diesem Falle immer auf die erforderliche Ertüchtigung der Altdeiche verweisen werden. Es ist leicht einsehbar, dass unter diesen Bedingungen die Durchsetzung von Anforderungen mindestens erschwert, wenn nicht gar unmöglich gemacht wird.

[15] Eine solche Thematik wurde schon im Schimmelreiter von Theodor Storm beschrieben. Den Tod findet der Deichgraf Hauke Haien genau dort, wo der Altdeich an den neuen Deich angrenzt.

### 11.1.5 Schutzziel von Betriebsbereichen

Ein weiteres Problem stellen Betriebsbereiche in Überschwemmungs- bzw. überschwemmungsgefährdeten Gebieten dar, für die bislang keine konkretisierten rechtlichen Vorgaben zum Hochwasserschutz existieren. Im Rahmen der Untersuchungen zeigte sich z.B. für die Modellregionen Emmerich und Chemiepark Bitterfeld, dass die behördlicherseits festgelegten Hochwasserschutzziele nur für öffentliche Deiche und sonstige Hochwasserschutzanlagen gelten. Betriebsbereiche werden von diesen Schutzzielen bislang nicht erfasst. In Abbildung 11.1.1 ist dieses Problem dargestellt. Es ergibt sich also die Notwendigkeit, dass vom Gesetzgeber konkrete Vorgaben zum Hochwasserschutz vorgegeben werden, welche für nach dem BImSchG genehmigungspflichtige Anlagen (4. BImSchV) im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG oder als Begründung von nachträglichen Anordnungen nach § 17 BImSchG oder aber gem. der 12. BImSchV für Betriebsbereiche umgesetzt werden können, um auch für Betriebsbereiche eine Regelung zum Hochwasserschutz zu erreichen. Weder das BImSchG noch die Störfall-Verordnung geben derzeit einen konkreten Hinweis, welches konkrete Schutzziel sicher zu stellen ist.

Um die untersuchte Modellregion Emmerich wurde ein Hochwasserschutzziel von $HQ_{500}$ realisiert. Eine Lücke bei den öffentlichen Schutzeinrichtungen wurde durch den Bau einer Hochwasserschutzwand in Emmerich geschlossen. Es bleibt eine weitere Lücke im Bereich der ortsansässigen Chemieunternehmen, für die das festgelegte Schutzniveau aufgrund der fehlenden Rechtsgrundlage nicht unmittelbar anzuwenden ist. Es ist leicht nachvollziehbar, dass das anzustrebende Schutzziel für die betroffenen Betriebsbereiche sich an dem örtlichen Schutzziel für die öffentlichen Deiche, die sich direkt neben den Betriebsbereichen befinden, orientieren sollte. Im konkreten Fall der betrachteten Unternehmen in Emmerich wäre dies also ein $HQ_{500}$. Im Falle der Bayer Bitterfeld GmbH wäre z.B. ein Schutzziel für ein Bemessungshochwasser von mindestens $HQ_{100}$ anzustreben, weil das Schutzziel für die öffentlichen Deiche ebenfalls ein $HQ_{100}$ ist. Analog dem Vorschlag für VAwS-Anlagen sollte nach Auffassung der Gutachter auch hier ein variables an die örtlichen Gegebenheiten angepasstes Schutzziel als Grundlage heran gezogen werden.

<u>Empfehlungen:</u>

Eine rechtliche Verankerung des vorgenannten Vorschlages ließe sich durch eine entsprechende Ergänzung in der Störfall-Verordnung erreichen, wonach sich der Schutz vor der Gefahr Hochwasser an den jeweiligen lokalen festgelegten Hochwas-

serschutzzielen zu orientieren hat. Damit würde eine Verbindung der Auslegung von Betriebsbereichen gegen Hochwassergefahren zu behördlich angeordneten Schutzzielen hergestellt.

Eine weitere Frage ist, für welche Betriebsbereiche in jedem Fall eine nähere Betrachtung der Gefahrenquelle Hochwasser durchzuführen wäre. Hierzu empfehlen die Berichterstatter, dass in der Störfall-Verordnung ein Bezug zu den in Karten ausgewiesenen Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten hergestellt werden sollte. Mit einem ausdrücklichen Verweis auf diese Gebiete würde klargestellt, dass diese Gefahrenquelle vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden kann, sondern i.d.R. Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind.

### 11.1.6 Anforderungen an Betriebsbereiche in Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten

In § 3 Abs. 2 Nr. 2 der Störfall-Verordnung wird die Berücksichtigung der Gefahrenquelle Hochwasser im Rahmen der Erfüllung der allgemeinen Betreiberpflicht zur Verhinderung von Störfällen gefordert. Die Begriffe „Deichversagen“, „Deichbruch“ und „Überspülung von Deichen“ kennt die Störfall-Verordnung nicht. Dennoch ist für die Ableitung möglicher Anforderungen analog der Diskussion bzgl. der VAwS-Anlagen ein Deichversagen als mögliche Gefährdungsursache für Betriebsbereiche anzunehmen. Um Gefährdungspotenziale für Anlagen abschätzen zu können, werden Risikoanalysen durch z.B. probabalistische Methoden durchgeführt. Für die Gefahrenquelle „Hochwasser“ sind im Einzelnen

- das Gefährdungspotenzial eines Deiches bei Hochwasser sowie
- das hieraus resultierende Gefährdungspotenzial für den Betriebsbereich im Falle eines Deichversagens

zu betrachten.

<u>Gefährdungspotenzial eines Deiches bei Hochwasser</u>

In den Niederlanden wurde eine probabilistische Methode entwickelt, um in Abhängigkeit von zahlreichen Versagensursachen die Wahrscheinlichkeit einer Überflutung eines Polders abzuschätzen. Die Untersuchungen konzentrierten sich hierbei auf die

Ermittlung von Schwachstellen im Küstenschutz. Zu den Ursachen von Deichbrüchen während der Sturmflut im Jahre 1953 zählten in den Niederlanden u.a. der Wellenüberlauf, Abrisse innerhalb eines Deichkörpers, Unterwanderung des Deichkörpers durch „Piping“. Diese Gefahrenquellen wurden für die Untersuchungen berücksichtigt. Zusätzliche Gefahren bilden in den Niederlanden Schleusen und Tore, die nicht rechtzeitig vor Hochwasser geschlossen werden können. Für die Untersuchungen musste zudem auch die Länge des Deiches berücksichtigt werden, weil diese einen großen Einfluss auf das Deichversagen hat. Eine einzige schwache Stelle in einem bestimmten Deichabschnitt bestimmt die tatsächliche Sicherheit des ganzen Deichabschnittes.

Die probabilistische Herangehensweise versucht nun die Wahrscheinlichkeit für eine Überschwemmung eines Polders zu bestimmen und die Akzeptanz dieser in Zusammenhang mit den Folgen zu beurteilen [Vrijling; van Gelder, 2001]. Zu Beginn der Untersuchungen wurden die gesamten Hochwasserschutzeinrichtungen eines Polders untersucht. Charakteristisch für solche Einrichtungen sind Seedeiche, Dünen, Flussdeiche, Schleusen, Pumpstationen, Hügel etc. Innerhalb eines längeren Elementes, z.B. eines 2 km langen Deiches, wurden mehrere unabhängige Abschnitte unterschieden. Jeder Abschnitt wurde auf mehrere mögliche Versagensmechanismen, wie Wellenüberlauf, Abriss, Piping, Erosion der geschützten Außenböschung, Schiffskollision, Aufreißen einer Pipeline sowie nicht rechtzeitiges Verschließen von Schutztoren und Schleusen untersucht. Die probabilistische Methode ermöglicht eine Bewertung von menschlichem Versagen, z.B. das Schließen eines Schleusentores, in Kombination mit einem strukturellen Versagen der Hochwasserschutzeinrichtungen. Dies wird von Fachleuten daher auch als besonderer Vorteil dieser Methode angesehen.

Die probabilistische Methode wurde an vier Poldern in den Niederlanden getestet. In Zentralholland wurden hierfür die 48 schwächsten Deichabschnitte, 4 Dünenabschnitte und weitere 64 Schutzbauten ausgewählt. Gegenwärtig sind die Niederlanden in insgesamt 53 Polder aufgeteilt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führten in Zentralholland tatsächlich zu einer Rangliste von schwächeren Schutzbauelementen.

Neben der Bewertung von Überschwemmungsrisiken werden probabilistische Methoden in der letzten Zeit auch für die Aufstellung von Instandhaltungsplänen von Küstenschutzbauten eingesetzt. Instandhaltungsplanungen beruhen auf Zuverlässigkeits- und Risikoabwägungen, Ergebnissen von Inspektionen und Reparaturen sowie auf den damit verbundenen Kosten.

Die kurze Darstellung des Untersuchungsprogramms zur Prüfung der in den Niederlanden entwickelten „probalistischen Methode zur Bemessung von Deichen und Küstenschutzbauten“ zeigt, dass diese Methode aufgrund des damit verbundenen Aufwandes nur auf ausgewählte Deichabschnitte anwendbar ist. In Deutschland wurden für Flussdeiche sowie weitere öffentliche Hochwasserschutzeinrichtungen nach den Recherchen der Berichterstatter bislang keine derartigen Untersuchungen vorgenommen. Somit fehlt den Betreibern von Betriebsbereichen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, die wesentliche Grundlage zur Bewertung des Gefahrenpotenzials durch Hochwasser für ihren Betriebsbereich.

Aus diesem Grunde erscheint es sinnvoller, wenn analog der Diskussion für VAwS-Anlagen auch für Betriebsbereiche Fallunterscheidungen vorgenommen werden, die unter bestimmten Randbedingungen verallgemeinerbar sind. Eine erste Fallunterscheidung ergibt sich z.B. dadurch, dass entsprechend der Abbildung 11.1.1 zahlreiche Betriebsbereiche am Gewässer liegen, ohne dass ein öffentlicher Deich vorhanden ist (vgl. Industriepark Leverkusen, Schirm AG in Schönebeck), andere Betriebsbereiche jedoch von öffentlichen Deichen geschützt werden.

Darüber hinaus kann beim Schutz durch öffentliche Deiche wiederum zwischen DIN-gerechten Deichen und Deichen, die nicht der DIN 19 712 entsprechen, unterschieden werden. Auch bzgl. der Vorwarnzeiten kann eine Differenzierung vorgenommen werden. Bei Altdeichen, deren Standfestigkeit, wie die Ereignisse im Jahr 2002 belegen, an vielen Stellen unzureichend war, muss von einer nicht immer ausreichenden Vorwarnzeit ausgegangen werden. Die Gefahr einer Deichüberspülung bzw. Überflutung des Geländes ist durch die mittlerweile eingerichteten Frühwarnsysteme und Informationsmittel auch für kritische Standorte, wie z.B. im Erzgebirge oder im Schwarzwald, frühzeitig erkennbar, so dass meist eine Vorwarnzeit von mehreren Stunden bzw. Tagen möglich ist.

Aus dieser Fallunterscheidung, die in **Abbildung 11.1.6.1** grafisch dargestellt ist, können konkrete Maßnamen zur Sicherung von Betriebsbereichen gegen Hochwasser entwickelt werden. Weil eine Überspülung von Deichen vor dem Hintergrund des Klimawandels mit den in einigen Regionen einhergehenden häufigeren starken Regenereignissen nicht ausgeschlossen werden kann, müssen grundsätzlich alle Betriebsbereiche in überschwemmungsgefährdeten Gebieten die Gefahren durch Hochwasser betrachten. Dies gilt unabhängig davon, ob die Betriebsbereiche den Grundpflichten oder den erweiterten Pflichten unterliegen. Die Gefahr eines Deichbruchs ist zudem für diejenigen Betriebsbereiche zu berücksichtigen, die hinter einem nicht DIN-gerechten Deich in einem überschwemmungsgefährdeten Gebiet

liegen. Weil für derartige Anlagen keine ausreichende Vorwarnzeit anzunehmen ist, ist ein Schutz der Betriebsbereiche durch stationäre Maßnahmen erforderlich. Grundsätzlich denkbar ist auch die nasse Vorsorge, die jedoch praktisch kaum zum Einsatz kommt. Mobile Schutzsysteme sind für diesen Fall nur z.T. geeignet. Dies gilt auch für organisatorische Maßnahmen, wie z.B. das Auslagern von gefährlichen Stoffen.

Bei allen anderen Betriebsbereichen, also solchen, die nicht durch einen Deichbruch gefährdet werden können, kann der Stand der Sicherheitstechnik zum Hochwasserschutz sowohl durch technische Maßnahmen als auch durch organisatorische Massnahmen sicher gestellt werden, weil in der Regel von einer ausreichenden Vorwarnzeit ausgegangen werden kann.

Welche Maßnahmen im Einzelnen für den jeweiligen Betriebsbereich am günstigsten sind, muss für den Einzelfall geprüft werden. Hierzu ist es nach Auffassung der Berichterstatter notwendig, dass auch für Betriebsbereiche, die nur den Grundpflichten unterliegen, die Maßmahmen zum Hochwasserschutz in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan dargelegt werden, um die Prüffähigkeit durch die Behörden oder Sachverständige zu gewährleisten. Darüber hinaus sind derartige Pläne, wie in Kapitel 11.5 noch eingehend dargestellt wird, für die Abstimmung mit den externen Katastrophenschutzplänen erforderlich.

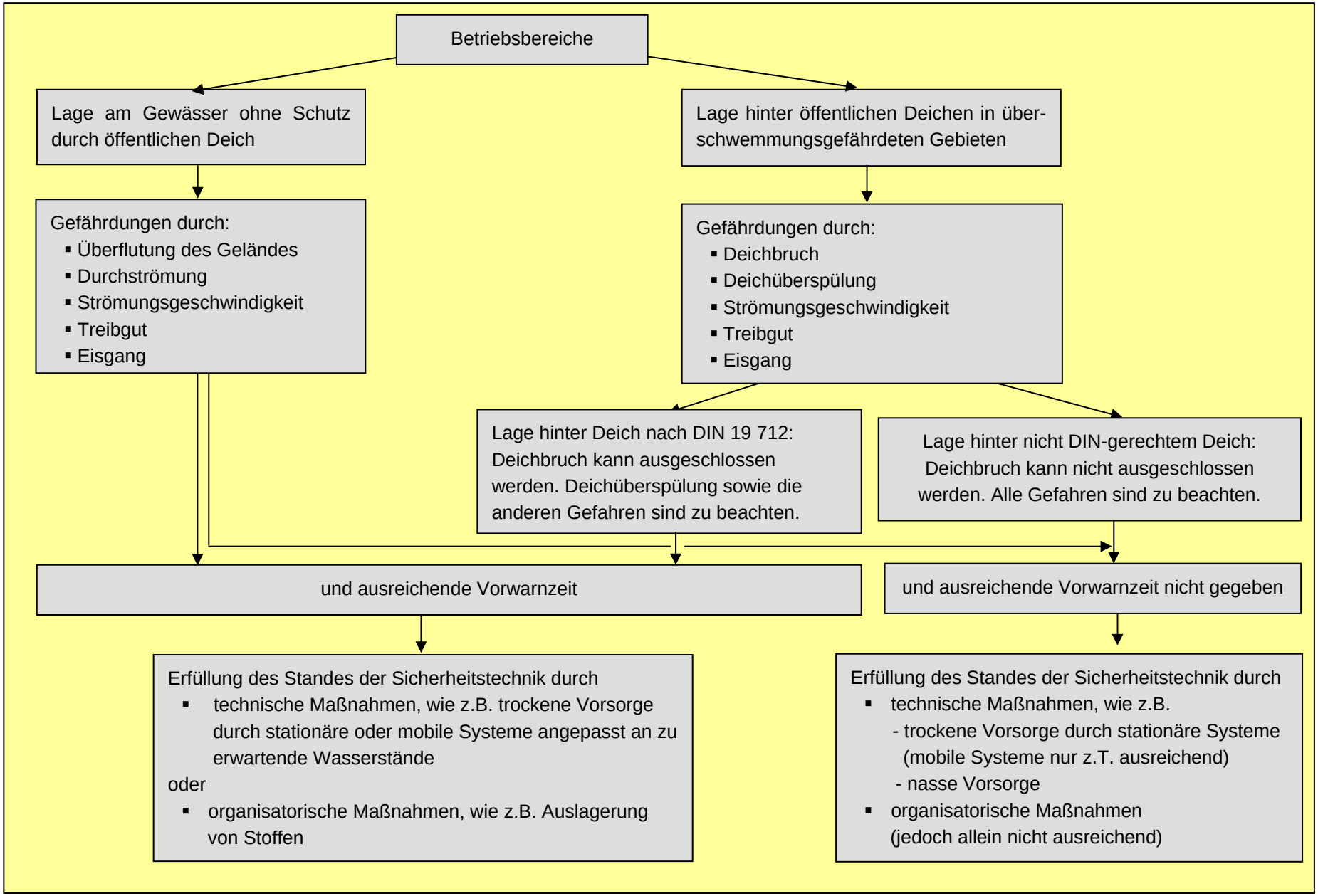



**Abbildung 11.1.6.1**: Fallunterscheidung zur Ableitung möglicher Anforderungen an Betriebsbereiche

Die in Abbildung 11.1.6.1 dargestellte Fallunterscheidung stellt, wie zuvor schon betont wurde, eine Verallgemeinerung dar, die auf plausiblen und nachvollziehbaren Unterscheidungsmerkmalen beruht. Der Gesetzgeber ist auf dieser Grundlage in der Lage, risikoproportionale Anforderungen zu formulieren. Dennoch muss davon ausgegangen werden, dass es Einzelfälle gibt, die von dieser Fallunterscheidung abweichen. Dies ist jedoch von den betroffenen Betreibern zu begründen. In diesen Fällen ist der Einzelfall bzgl. der Gefahrenquelle Hochwasser näher zu untersuchen.

Bemerkenswert ist, dass so lange die Überspülung eines Deiches nicht ausgeschlossen werden kann, die möglichen Anforderungen an Betriebsbereiche hinter DIN-gerechten Deichen identisch sind mit den Anforderungen an Betriebsbereiche ohne den Schutz durch öffentliche Deiche. Der einzige Unterschied besteht nur in der Höhe des zu erwartenden Wasserstandes.

Gefährdungspotenzial für Betriebsbereiche im Falle eines Deichversagens

Entsprechend den Anforderungen der Störfall-Verordnung sind Betriebsbereiche, welche in den Geltungsbereich dieser Verordnung fallen, grundsätzlich nach dem Stand der Sicherheitstechnik auszuführen und zu betreiben. Dies gilt gleichermaßen für Betriebsbereiche mit Grundpflichten als auch jene mit erweiterten Pflichten. Die Festlegung des Geltungsbereiches der StörfallV ist auf bestimmte dort aufgeführte gefährliche Stoffe oder Stoffgruppen mit entsprechend zugeordneten Mengenschwellen (Spalten 4 und 5) sowie Kombinationen von Stoffen und Stoffgruppen nach festgelegten Summen- und Quotientenregeln bezogen.

Bestimmte relevante einzelne Gefährdungspotenziale aufgrund größerer Einzelmengen in Anlagenkomponenten werden mit der TAA-GS-24 für sicherheitsrelevante Apparate (SRAs) in Bezug auf eine besondere Sicherheitsbetrachtung sowie hinsichtlich einer maximalen möglichen Freisetzungsmenge (GZM) im Störfall mit der SFK-GS-26 im Sicherheitsbericht abgehandelt, um die möglichen größten Risiken sicherheitstechnisch zu beherrschen. Die Störfall-Verordnung macht bei der Forderung zur Anwendung des Standes der Sicherheitstechnik hinsichtlich der Abwehr einer Gefährdung durch Hochwasser keinen Unterschied.

Somit ist festzustellen, dass es nicht zulässig ist, eine Stufung von technischen Anforderungen zum Hochwasserschutz entsprechend dem Gefährdungspotenzial von Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung vorzunehmen.

## 11.1.7 Anforderungen für brennbare Gase (Flüssiggase)

Flüssiggase sind die Medien für die seit Jahren ausführliche Regelwerke vorliegen, wobei die Maßnahmen zum Hochwasserschutz allerdings nur in den Regelwerken angesprochen werden, die in **Tabelle 11.1.7.1** zusammengestellt sind. Hierzu zählt im Wesentlichen für die Betriebsanforderungen die TRB 801 Nr. 25.

**Tabelle 11.1.7.1**: Anforderungen zum Hochwasserschutz in den derzeitigen Regelwerken

| Regelwerk/Verordnung | Anwendungsbereich | Anforderung |
|---|---|---|
| TRB 600 | Aufstellung der Druckbehälter | Auftriebssicherheit |
| TRB 801, Anlage zur Nr. 25 | Flüssiggaslagerbehälteranlagen | Anlagenaufstellung bei Hochwasser |
| TRR 100 | Bauvorschriften - Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen | keine unzulässige Lageveränderung |
| TRGS 555 | Betriebsanweisungen und Unterweisungen nach § 20 GefStoffV | Anweisungen für das Verhalten bei Hochwasser |
| Sicherheitstechnische Anforderungen an Flüssiggasanlagen (Erlässe – Hessen und Niedersachsen) | Läger und Abfüllanlagen | Schutz der Anlage vor Hochwasser |

Die technischen Regeln TRB und TRR für Druckbehälter wie Flüssiggasbehälter und Flüssiggas-Rohrleitungen sind hinsichtlich ihrer betrieblichen Anforderungen weiterhin gültig (Übergangsbestimmung der BetrSichV).

Für das Inverkehrbringen dieser Behälter und Rohrleitungen, das sind Druckgeräte mit einem maximal zulässigen Druck von mehr als 0,5 bar (Ü), gelten die Sicherheitsanforderungen der Druckgeräteverordnung - 14. GPSGV. D.h. sie müssen nach den grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Richtlinie 97/23/EG (Druckgeräte-Richtlinie) ausgelegt und gefertigt werden. Darüber hinaus fällt die Lagerung von Flüssiggasen ab einer Menge von 50.000 kg in den Geltungsbereich der Störfall-Verordnung.

Die Berichterstatter schlagen analog den Ausführungen in Kapitel 4.4.3 folgende bautechnischen Maßnahmen zum Hochwasserschutz für Flüssiggasanlagen vor:

- Aufstellung der Flüssiglagertanks oberhalb des maximal möglichen Hochwasserstandes
- mindestens 1,3-fachen Sicherheit gegen Auftrieb mit statischem Nachweis

- Verankerung der Behälter in ausreichend dimensionierten Fundamenten zum Schutz vor Strömungskräften
- Sandbettlagerung mit Erdüberdeckung (mindestens 1 m) nach TRB 600 für unterirdische Tanks
- Sicherung oberirdischer Tanks vor Treibgut durch z.B. Leitbleche
- Installation von Ventilen zur Abschottung (Absperrung) des Behälters
- Aufstellung in ausreichender Entfernung von Kabeln, fremden Leitungen und Gebäuden bzw. Gebäudefundamenten
- Verlegung von Rohrleitungen oberhalb der maximalen Wasserlinie oder unterirdisch zur Vermeidung von Schäden z.B. durch Treibgut
- Hochwassersichere Verlegung von Rohrleitungen durch feste Verankerungen

Darüber hinaus ist für überschwemmungsgefährdete Gebiete die Forderung zu erheben, die Lagerung von Flüssiggasen in Kugelbehältern auf Stützen wegen der Gefahr einer Beschädigung durch Treibgut nicht zu gestatten. Die Berichterstatter empfehlen eine entsprechende Ergänzung sowohl in der Druckgeräteverordnung (14. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz - 14. GPSGV) als auch in den neuen Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) aufzunehmen. Möglichkeiten zur Sanierung bestehender Einheiten sind in Kapitel 4.4.3 dargelegt.

Analog zur Fallunterscheidung nach Abbildung 11.1.6.1 mit den entsprechenden Randbedingungen sollte auch für Flüssiggaslager folgende Differenzierung der möglichen Anforderungen vorgenommen werden:

<u>Anlagen hinter nicht DIN-gerechten Deichen:</u>
Gefahren durch: Deichbruch
Deichüberspülung
Strömungsgeschwindigkeit
Treibgut
Eisgang
Anforderungen: bautechnische Anforderungen entsprechend der obigen Auflistung
alternativ: stationäre Maßnahmen, wie z.B. Hochwasserschutzwand
nur z.T. ausreichend: mobile Schutzmaßnahmen

Anlagen hinter DIN-gerechten Deichen sowie Anlagen ohne Schutz durch öffentliche Deiche:

Gefahren durch: Deichüberspülung/Überflutung
Strömungsgeschwindigkeit
Treibgut
Eisgang

Anforderungen bautechnische Anforderungen entsprechend der obigen Auflistung
alternativ: stationäre Maßnahmen, wie z.B. Hochwasserschutzwand, sowie mobile Schutzmaßnahmen

Organisatorische Maßnahmen, wie z.B. das Auslagern, sind bei Flüssiggasbehältern allein schon aus sicherheitstechnischen Gründen nicht möglich. Daher sind oranisatorische Maßnahmen bei Flüssiggastankanlagen auch keine Alternative zu den technischen Maßnahmen.

### 11.1.8 Erfassung von kleinen privaten Heizöltanks und Flüssiggasbehältern

Ein Problem für die Vollzugsbehörden der Länder stellt die Erfassung von privaten Heizöltanks und Flüssiggasanlagen dar. Private Heizöltanks unter 1.000 l unterliegen grundsätzlich keiner Prüfpflicht und werden daher auch den Behörden nicht gemeldet. Nach Auskunft von VAwS-Sachverständigen sind die Anlagen jedoch äußerst selten anzutreffen. Dabei handelt es sich z.B. um Etagen- oder Garagenheizungen.

Anlagen in der Größe von 1.000 – 10.000 l unterliegen der Pflicht einer einmaligen Prüfung und müssten daher eigentlich den Behörden bekannt sein, was nach Auskunft der von uns befragten VAwS-Sachverständigen, Behördenvertretern sowie Sanierungsunternehmen für Tankanlagen häufig nicht der Fall ist. Zwischen 30 – 40% wird der Anteil der nicht angezeigten und daher nicht geprüften Anlagen bezogen auf die Gesamtzahl der Anlagen zwischen 1.000 und 10.000l geschätzt. In Hessen wird derzeit eine Prüfung aller Tankanlagen nach 1993 durchgeführt, die bislang nicht geprüft wurden. Die Informationen über die privaten Heizöltankbetreiber stammen dabei von den Schornsteinfegern. Dabei wurden in zahlreichen Fällen erhebliche Mängel an den Tankanlagen festgestellt.

Eine andere Quelle sind die Bauämter, die im Rahmen von Baugenehmigungen ebenfalls über Informationen über private Heizöltanks verfügen. Die Bauämter leiten jedoch diese Informationen in der Regel nicht an die Wasserbehörden weiter.

Die Kenntnis von privaten Heizöltanks wird besonders dann relevant, wenn nach der Ausweisung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten, die Anlagen, die in diesen Gebieten liegen, nicht mehr einer einmaligen, sondern einer wiederkehrenden Prüfung unterliegen. Diese Prüfung findet in der Regel alle 5 Jahre statt.

Problematisch ist auch die Lagerung von Flüssiggas in Mengen <5 m³ bzw. <3 t. Da diese Anlagen keiner Genehmigungs- oder Anzeigepflicht unterliegen, ist von keiner Behörde festzustellen, wie viele Flüssiggaslagertanks in welcher Größe wo aufgestellt sind. Lediglich Nordrhein-Westfalen bildet hier eine Ausnahme, da dort eine Anzeige vorgeschrieben ist.

Empfehlungen

Aus den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen ergeben sich aus Sicht der Berichterstatter 2 Ansätze, nach denen dieses Defizit möglicherweise behoben werden kann:

1. Meldepflicht für die Bauämter

   Es sollte eine Meldepflicht für die Bauämter in Form einer Verwaltungsvorschrift von den Bundesländern erlassen werden, nach der Informationen über private Heizöltanks an die Wasserbehörden weitergeleitet werden müssen. Die Informationen sollten mindestens die Adressen der Betreiber, Jahr der Errichtung, Bauart sowie Kapazität der Tankanlage beinhalten.

2. Einführung einer Anzeigepflicht durch die Länder

   Analog dem Vorgehen von Nordrhein-Westfalen sollte eine Anzeigepflicht für Flüssiggaslagertanks auch für kleine Anlagen (< 5 m³ bzw. < 3 t; vgl. Tabelle 4.4.1.1) im privaten Bereich durch die Ländern eingeführt werden.

### 11.1.9 Fortschreibung von Verordnungen und Regelwerken für die Gefahrenquelle Hochwasser

Es gibt keine speziellen Regelwerke für Betriebsbereiche und Anlagen nach der StörfallV, die speziell auf eine Absicherung gegen Gefahren durch Hochwasser ausgerichtet sind. Um einen adäquaten Schutz zu erhalten, sind deshalb i.d.R. diejenigen Regelwerke heranzuziehen und anzuwenden, die aufgrund ihrer Anforderungen u.a. den sicheren Einschluss von gefährlichen Medien in Anlagen, Behältern aber auch deren sichere Aufstellung fordern. Damit kann auch ein Schutz vor Hochwasser gewährleistet werden.

Im Kapitel 3.8.3 sind alle wesentlichen Regelwerke und Verordnungen mit wichtigen Informationen aufgeführt, in welchen der sichere Einschluss von gefährlichen Stoffen in Behältern, Tanks und Rohrleitungen etc. sowie die Anforderungen zur sicheren Aufstellung von Behältern als auch die erforderlichen Sicherheitseinrichtungen abgehandelt werden. Diese resultieren u.a. aus den Vorschriften für technische Arbeitsmittel und überwachungsbedürftige Anlagen nach Artikel 1 des Gesetzes zur Neuordnung der Sicherheit von technischen Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten [GPSG, 2004].

Grundsätzlich ist festzustellen, dass in den ausgewerteten relevanten Regelwerken und Verordnungen eine direkte Festlegung bzw. ein direkter Bezug zum Schutz vor Hochwasser nur selten enthalten ist. So liegen nur punktuelle Angaben verstreut in einer größeren Anzahl von Regelwerken vor. Insgesamt ergibt sich, dass

- die Technischen Regelwerke nicht in gebotenem Maße die Gefahrenquelle Hochwasser berücksichtigen und
- die Technischen Regelwerke nicht ausreichend konkrete und geeignete Sicherheitsanforderungen begründen.

Die vorhandenen Regelwerke und Verordnungen sind zur Gewährleistung eines adäquaten Hochwasserschutzes als Grundlage für die Planung und den Betrieb für Anlagen daher als unvollständig und unzureichend zu bewerten. Ein übergreifendes technisches Regelwerk zum Hochwasserschutz für Anlagen und Betriebsbereiche gibt es nicht.

Empfehlung:

Auf der Grundlage der vorgenommenen Sachstandsanalysen und der Darlegungen zum Stand der Technik lassen sich keine direkten Vorschläge für eine übersichtliche Fortschreibung ableiten. Daher wird von den Verfassern dieses Forschungsberichtes empfohlen, ein gesondertes neues Regelwerk zum Hochwasserschutz für die Auslegung und zum Betrieb von sicherheits- und umweltrelevanten Komponenten in Betriebsbereichen gemäß der StörfallV sowie Anlagen nach § 19g WHG zu erstellen, welches auch übergreifend ganze Anlagenkomplexe erfassen soll.

### 11.1.10 Möglichkeiten zur Verbesserungen des technischen Hochwasserschutzes

Im Kapitel 7 ist der Stand des technischen Hochwasserschutzes umfassend dargestellt. Insgesamt kann festgestellt werden, dass zahlreiche Systeme zur trockenen Vorsorge angeboten werden, deren Einsatzmöglichkeiten von den örtlichen Gegebenheiten abhängen. Die Notwendigkeit von Verbesserungen oder gar ein Forschungsbedarf sind derzeit nicht erkennbar. Dies gilt ebenso für die nasse Vorsorge. Die entsprechende Technik für Betriebsbereiche nach der StörfallV ist vorhanden. Eine Verbesserung ergäbe sich bei Defiziten durch eine entsprechende Umsetzung in bestehenden Anlagen bzw. Betriebsbereichen (siehe Inspektionen gemäß § 16 StörfallV Kap. 11.6.2). Des Weiteren werden schon seit Jahren erprobte Behälter, z.B. für die Lagerung von Heizöl in Überschwemmungsgebieten zugelassene Behälter, angeboten. Entsprechend dem gegenwärtigen Stand der Technik können hierzu keine Verbesserungsvorschläge oder gar ein Forschungsbedarf abgeleitet werden.

Dies gilt auch für Ergänzungsvorschläge zur DIN 19712 „Flussdeiche“. Hierzu wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eine umfangreiche Literaturstudie vorgenommen. Nach dem Oder-Hochwasser von 1997 wurde die DIN 19 712 für Flussdeiche aktualisiert und ist somit relativ jungen Datums. Sie enthält Grundsätze und Maßnahmen für die Planung, den Bau und die Unterhaltung von Flussdeichen, die dem gegenwärtigen Stand der Technik in Deutschland entsprechen. Diese Grundsätze wurden jedoch bislang in der Regel aber nur bei neueren Hochwasserschutzanlagen berücksichtigt. Altdeiche weisen häufig Schwachstellen auf. Inwiefern ein Flussdeich den bei Hochwasser drohenden Gefahren Widerstand leisten kann, kann auf der Grundlage von Standsicherheitsnachweisen nach DIN 19712 beurteilt werden.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass nach Auffassung der Wasserbauingenieure derzeit kein Überarbeitungsbedarf der DIN 19712 besteht. Vielmehr steht aktuell die Bewertung und ggf. Ertüchtigung der so genannten Altdeiche im Vordergrund der wasserbaulichen Betrachtung.

### 11.1.11 Methoden zur Ermittlung von Stofffreisetzungen und Stoffausbreitungen

In Kapitel 7.4 wurden Berechnungsmodelle auf der Basis physikalischer Grundlagen und empirischer Daten sowie entsprechend den in der Literatur veröffentlichten Methoden zur Abschätzung von Freisetzungsmengen im Leckfall, verursacht durch Hochwasser und Ausbreitung von Stoffen, dargestellt.

Für alle Leckvorgänge, wie sie unter Kapitel 7.4.2.2 beschrieben wurden, sind, wie umfangreiche Recherchen der Berichterstatter ergeben haben, keine umfassenden direkt auf die einzelnen Freisetzungsvorgänge anzuwendenden Berechnungsmethoden vorhanden. Die wenigen vorliegenden Veröffentlichungen beziehen sich stets auf die Betrachtung von Einzelfällen mit Eingrenzungen und Annahmen. Nach dem Stand der Technik wären solche Berechnungen, soweit überhaupt möglich, stets individuell vorzunehmen und daher für die Fälle der unter Kap. 7.4.2.2 genannten Leckvorgänge im Ereignisfall kaum praktikabel. Das Austreten von Stoffen aus Lecks unter Wasser, wie unter Kapitel 7.4.2.2 für alle relevanten Fälle dargelegt, stellt allerdings ein vielschichtiges Problem aus Strömungsmechanik und Thermodynamik dar. Eine rein mathematische Ermittlung basierend auf physikalischen Grundlagen ist aufgrund dieser Vernetzung derzeit nicht möglich.

Die Abläufe von möglichen exotherm ablaufenden Reaktionen in solchen Leckszenarien durch das Zusammenführen verschiedener Medien in und mit Wasser sind reaktionskinetisch nicht zu ermitteln, da bereits das Zusammenwirken von fluid- und thermodynamischen Abläufen physikalisch und mathematisch kaum erfassbar ist. Dies wäre allenfalls durch eine äußerst umfangreiche Versuchsreihe möglich. Inwieweit dies sinnvoll ist, kann z.Zt. kaum abgeschätzt werden.

Forschungsbedarf

Nach Ansicht der Berichterstatter und aus Sicht der Betreiber wäre es sinnvoll, zumindest ein überschlägiges Formelwerk, insbesondere aber ein Tabellenwerk und graphische Darlegungen als Nomogramme zu entwickeln, um innerhalb des kurzen verfügbaren Zeitraumes im Falle einer Havarie abgeschätzte Daten hinsichtlich der jeweiligen Austrittsmengen zu erhalten.

Es sind jedoch zur konkreten Erfassung und Lösung der Probleme empirische Ermittlungen solcher Freisetzungsvorgänge im strömungstechnischen, fluid-dynamischen Bereich unter Einbeziehung der thermodynamischen Abläufe erforderlich. Hierbei sind u.a. zu untersuchen:

- Verdampfungs-/Verdunstungsraten,
- Verdunstungskälte im Zusammenspiel mit bewegtem Wasser (auch an der Oberfläche),
- Sink- und Auftriebsgeschwindigkeiten,
- Temparaturverläufe,
- Lösungsprozesse von Gasen in Wasser etc.

Besonderes Augenmerk muss bei solchen Untersuchungen darauf gelegt werden, ein Modell für den Austritt von verflüssigten Gasen in das umgebende Fluid (Wasser oder Luft) zu entwickeln, welches mittels einfach bestimmbarer Werte eine Abschätzung des weiteren Verlaufes gestattet. Dazu sollten Auslaufversuche durchgeführt werden. Es erscheint hierbei wichtig, neben den Auslaufraten solche Größen zu finden, die Rückschlüsse auf eine Leckgröße zulassen. Hiermit würde es möglich, den weiteren Verlauf eines Leckverlustes in einem Hochwasserfall (d.h. bei einem Leck unterhalb der Wasseroberfläche) gut abzuschätzen. Da es sehr aufwendig ist, den Verlauf für verschiedene Leckgrößen, Medien und Drücke zu bestimmen, erscheint es sinnvoll, mittels von Ähnlicheitsmodellen benötigte Daten für gefährliche Stoffe zu ermitteln. Die Qualität solcher Rechnungen kann dann am Beispiel der vermessenen Kombinationen nachgewiesen werden. Auf der Basis der Erkenntnisse solcher Untersuchungen lassen sich dann brauchbare Datenbanken entwicklen.

Für die Ausbreitungsrechnung von gelösten Schadstoffen auf dem Wasserpfad (Kapitel 7.4.3.3) wurden für den Rhein das Rhein-Alarmmodell sowie für die Elbe das

Alarmmodell Elbe (ALAMO) entwickelt. Beide Modelle wurden für den Normalwasserstand entwickelt und sind für den Hochwasserfall nicht nutzbar.

Darüber hinaus setzt das Rhein-Alarmodell stationäre Verhältnisse voraus, was gerade bei einem Hochwasserereignis nicht angenommen werden kann. Zudem können die Strömungsverhältnisse im Hochwasserfall nicht simuliert werden.

Das Alarmmodell Elbe ist im Vergleich zum Rhein-Alarmmodell schon weiter entwickelt und schließt den instationären Fall ein. Es ist jedoch nur für den Bereich von einem mittleren Niedrigwasserdurchfluss bis zu einem mittleren Hochwasserdurchfluss gültig und umfasst somit nicht den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens betrachteten Fall eines extremen Hochwasserereignisses. Für die Nebenflüsse der Elbe, wie z.B. die Mulde, wurde bislang kein Alarmmodell entwickelt.

Insgesamt ist somit festzustellen, dass eine Ausbreitungsrechnung für freigesetzte Schadstoffe im Extremhochwasserfall bislang nicht möglich ist. Es gibt derzeit kein ausreichend genaues Rechenmodell, dass analog der Ausbreitung über den Luftpfad anwendbar wäre. Darüber hinaus ist zwischen den lokalen Verhältnissen an der Einleitungsstelle und den Verhältnissen nach vollständiger Durchmischung quer zur Strömungsrichtung zu unterscheiden.

Forschungsbedarf:

Da die Anwendbarkeit der Alarmmodelle für Rhein und Elbe praktisch auf den Normalwasserstand beschränkt ist, wäre eine Erweiterung für den Hochwasserfall wünschenswert. Hierzu sind jedoch erhebliche Forschungsanstrengungen zu unternehmen. Darüber hinaus sollten auch Modelle für Ausbreitungsrechnungen für andere Flüsse erarbeitet werden.

## 11.2 Gefahrenquelle Sturm und Erdbeben

### 11.2.1 Untersuchungsergebnisse

Der Stand der Technik der bautechnischen Risikobestimmung und -eingrenzung ist heute in Deutschland hinsichtlich der Baunormen und der sonstigen Regelungsdichte

hervorragend verfügbar. Dies gilt auch für die heute bei Ausführungsplanungen eingesetzten, komplizierten computerbasierten Tragwerksanalysen sowie für das generell gute Fachwissen deutscher Bauingenieure. Letzteres gilt sicherlich mit Ausnahme ausgesprochen dynamisch verlaufender Tragwerksprozesse und allgemeineren sicherheitstheoretischen Risikoeingrenzungen. Sofern alles dies bei Bauwerken in Betriebsbereichen nach der StörfallV korrekt zur Anwendung gebracht wird, bleiben nur dann Zweifel an einer zuverlässigen Ermittlung und Eingrenzung des Gesamtrisikos einer verfahrentechnischen Anlage, wenn bauliche und betriebliche Risiken (z.B. enthaltene Gefahrstoffe) gemeinsam wirksam werden können.

In der praktischen Umsetzung von Genehmigungsverfahren in der deutschen Industrieanlagenpraxis lassen sich nach Erkenntnis der Berichtsverfasser eine ganze Reihe von im Kapitel 8 behandelten Defiziten feststellen, die noch einmal zusammenfassend aufgezählt werden:

(1) Technisch-wissenschaftlich begründete Sicherheitsdefizite:

- Konzeptionelle Schwierigkeiten bei der Behandlung von Kombinationsrisiken, d.h. kombinierter baulicher und betrieblicher Risiken (Abschnitt 8.7.1.4).
- Höhere Sturmgefährdung besonders bei leichten Produktionsgerüsten nach der neuen DIN 1055-4 nördlich der Mittelgebirge (Abschnitt 8.7.2.1).
- Häufig unzutreffende Einschätzung der Sturmgefährdung durch Interferenzen infolge der Umgebungstopologie in Produktionsanlagen (Abschnitt 8.7.2.3).
- Unkenntnis der Schutzziele der DIN 4149 (Personenschutz), wodurch im Falle des Bemessungserdbebens erhebliche plastische Deformationen in Anlagenkomponenten auftreten könnten (Abschnitt 8.7.3.2).
- Derzeit unbekannte seismische Vulnerabilitäten der meisten in deutschen Erdbebengebieten gelegenen Produktionsanlagen (Abschnitt 8.7.3.4).
- Nach Baurecht fehlende Regelungen der Betriebsmaßnahmen nach einem Erdbeben (Abschnitte 8.7.1.5; 8.7.3.10).

(2) Sicherheitsdefizite aus dem Verfahren und dem Genehmigungsvollzug:

- Baunormen unterschiedlichen Standes der Technik (Abschnitt 8.5.1).
- Bautechnische Sicherheitsdefizite bei der BImSchG-Mitgenehmigung durch mangelnde Berücksichtigung der Baurechtsaspekte (Abschnitte 8.5.2; 8.7.1.2).

- Systemische Sicherheitsdefizite durch verfahrensgemäße Koordinationsmängel, wie Nicht-Beachtung der baugesetzlichen Prüfberichte in den Prüfberichten nach BImSchG und Sicherheitsberichten sowie deren Prüfberichte gemäß StörfallV (Abschnitte 8.5.5.4; 8.7.1.3).
- Mangelnde Kenntnis in den BImSchG-Prüfverfahren von Schutzzielen der Baunormen (Abschnitt 8.7.3.2).
- Wissenslücken zwischen Verfahrensingenieuren bzw. Anlagenplanern und Bauingenieuren in der Anlagenplanung und -prüfung (Abschnitt 8.7.1.3).

Zur Beseitigung dieser Defizite sind im Kapitel 8 für das Genehmigungsverfahren und dessen Vollzug betreffende Maßnahmen vorgeschlagen worden. Vorhandene technisch-wissenschaftliche Lücken sind angesprochen und zukünftige Lösungsmöglichkeiten der technischen Forschung angedeutet worden.

### 11.2.2 Empfehlungen für die Fortschreibung von Gesetzen bzw. Verordnungen und technischen Regeln

Das Genehmigungsverfahren nach BImSchG unter Einschluss des baurechtlichen Verfahrens (hier kurz als Mitgenehmigungsverfahren bezeichnet) nach § 10 BImSchG unter besonderer Berücksichtigung des Abs. 5 weiter konkretisiert in der 9. BImSchV, insbesondere bezüglich der Beteiligung anderer Behörden durch § 11 9. BImSchV wird hinsichtlich der baurechtlichen Genehmigung bei Zusatzrisiken aus Erdbeben und Sturm dem Gebot der Gesamt-Gefahrenabwehr eines Betriebsbereiches nach StörfallV nicht ausreichend gerecht. Es geht hierbei nicht allein um die Einholung von Stellungnahmen der Bauordnungsinstanz nebst deren aktenmäßiger Dokumentation, sondern um die Integration der baulichen Risikoabwehr in die Eingrenzung des gesamtbetrieblichen Risikos.

Die Berichterstatter empfehlen § 11 der 9.BImSchV in gebotenem Maße zu ergänzen, wonach *die Genehmigungsbehörde im Falle erhöhter baulicher Risiken aus Erdbeben und Sturm eine enge Koordination mit der Baugenehmigungsbehörde herbei zu führen ha*t. In diesem Rahmen mit entsprechender Ergänzung des § 13 der 9. BImSchV sollen dann zukünftig die Prüf- und Abnahmeberichte der Bauaufsicht in die Prüfberichte und Sachverständigengutachten nach StörfallV integriert werden, um das gesamte (Kombinations-) Risikopotenzial einer Produktionsanlage, eines La-

gers oder eines Betriebsbereiches nach der StörfallV korrekt zu bestimmen (Näheres siehe 8.7.1.2).

Es wird weiter empfohlen, in § 11 der 9. BImSchV eine Aussage aufzunehmen, welche die Abstimmung zwischen den Genehmigungsbehörden nach BImSchG, den Baubehörden, den Anlagenbetreibern und den Betreibern von Betriebsbereichen, den staatlich anerkannten Sachverständigen für die Prüfung der Standsicherheit sowie den Sachverständigen nach § 29 a BImSchG verbindlich vorschreibt.

Vollzugsdefizite liegen auch bei den Betreibern vor. Diese sind eigenverantwortlich für:

a) Die Erstellung von Anträgen auf Genehmigung nach dem BImSchG.
b) Die Erstellung von Unterlagen zur Baugenehmigung im BImSchG-Verfahren.
c) Die Erstellung von Sicherheitsberichten.
d) Die Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen.

Bei Erkennung baulicher Zusatzrisiken aus Erdbeben und Sturm müssen die Betreiber in den Schritten a) bis c) die Maßnahmen zu deren Eingrenzung bzw. Reduktion zukünftig eingehend darlegen.

In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, jeweils für einen Betriebsbereich mit extremer Sturmgefährdung (z.B. Wilhelmshaven, Brunsbüttel) und für einen solchen mit erhöhter seismischer Gefährdung (z.B. Aachen, Köln, Schwäbische Alb, Basel) einen „Musterbauantrag nach b)“ zu auszuarbeiten.

Weiter wäre die Erarbeitung einer „Technischen Regel Anlagensicherheit in sturm- und erdbebengefährdeten Gebieten“ ein geeignetes Mittel, Betreiber und Genehmigungsbehörden für Fragen der Kombination baulicher und betrieblicher Risiken zu Gesamtrisiken einer Produktionsanlage bzw. eines Betriebsbereiches zu sensibilisieren.

Schließlich haben die Verfasser dieses Berichtes die gegenseitigen mangelnden Kenntnisse von Ingenieuren des Anlagenbaus und des Bauingenieurwesens über ihre jeweiligen Konzepte zur Risikoeingrenzung als eine von mehreren Ursachen vieler der angesprochenen Probleme erkannt. Zur Abstellung wären u.a. Fortbildungsmaßnahmen ein geeignetes Mittel.

### 11.2.3 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

DIN 1055-4 (03/2005) und DIN 4149 (04/2005) wie auch die gesamten Regelungen der baurechtlichen Risikobegrenzung nach DIN 1055-100 (03/2001) sind primär für Bauwerke des Hoch- und Ingenieurbaus konzipiert. Sie haben als Zielgruppe private und öffentliche Bauten im Auge und sicherlich keine Anlagen mit zusätzlichen Betriebsrisiken. Ihre primären Schutzziele sind dabei die Vermeidung von Verlusten an Menschenleben. Der gesamte Investitionsschutz gilt im Baurecht schon immer als sekundär, da er nicht zu den Fürsorgepflichten des Staates für seine Bürger zählt, sondern als private Aufgabe gilt. Dieses Sicherheitsdenken ist für Betriebsbereiche, welche der StörfallV unterliegen, nicht akzeptabel. Aus vielen dokumentierten Schadenserfahrungen – insbesondere nach jüngeren Starkbeben – entspricht eine derartige Sicherheitsphilosophie bei Industrieanlagen in keiner Weise einem modernen Streben nach Eingrenzung des Gesamtrisikos.

Im Falle von Betriebsbereichen nach der StörfallV sowie Anlagen nach § 19 g WHG und solchen für brennbare Gase (hier Flüssiggas), die in deutschen Erdbebengebieten liegen, stimmen die Schutzziele der DIN 4149 mit denjenigen, welche möglicherweise für solche Anlagen bzw. Betriebsbereiche adäquat wären, nicht überein. DIN 4149 gilt primär für Hoch- und Ingenieurbauten und soll für ein Beben mit 475-jähriger Wiederkehrperiode gerade den Personenschutz gewährleisten. Dies bedeutet, dass im seismischen Grenzfall eine betroffene bauliche Anlage weitgehend zerstört sein darf, wenn nur keine (wenige) Menschenleben zu beklagen gewesen sind.

Ein derartiges Szenario ist für Betriebsbereiche nach der StörfallV und Anlagen nach § 19 g WHG sowie Lager für Flüssiggas völlig inakzeptabel (siehe 8.7.3.2), da geringe seismische Komponentenschäden (Plastzierungen, lokale Brüche) zu großen sekundären Schadensauswirkungen in solchen Betriebsbereichen bzw. Anlagen (Schadstoffaustritte, Brände, Explosionen) führen können. Aber auch die diesbezüglichen Regelungen der KTA 2201 wären hier schwierig anwendbar, da sie konservativ (strukturdynamische Gesamtnachweise der KT-Anlage) und darüber hinaus veraltet sind (siehe 8.7.3.3). Diese hiermit angesprochenen Fragen der Begrenzung seismischer Beanspruchungen sind nur durch erheblichen anwendungsorientierten Forschungsaufwand im Konzept eines modernen „perfomance-based seismic engineering“ einer Klärung näher zu bringen (siehe Abschnitt 8.7.3.6).

Forschungsbedarf liegt weiter insbesondere in der seismischen Strukturdynamik der vielen Sonderkonstruktionen von Produktionsanlagen, deren seismische Vulnerabilität weitgehend unbekannt ist (siehe Abschnitte 8.7.3) und deshalb nicht durch

systematische Konstruktionsmaßnahmen gesenkt werden kann. In noch höherem Maße aber besteht Forschungsbedarf in der Bestimmung und systematischen Absenkung der seismischen Vulnerabilität (Anhebung der seismischen Robustheit) eines gesamten Betriebsbereichs (Systemische Vulnerabiltät/Robustheit), der durch interne Infrastrukturbauwerke vielfach vernetzt ist (Abschnitt 8.7.3.5).

Bei einer Beurteilung der Bedeutung dieser Fragestellungen für die Sicherheit von Produktionsanlagen wird oft übersehen, dass z.B. Köln einschließlich seines rheinnahen Gürtels an chemischen Industrien eine deutsche Großstadt mit einer herausragenden seismischen Gefährdung wie in Südeuropa darstellt.

## 11.3 Gefahrenquelle Bergsenkungen

### 11.3.1 Gefahrenquelle Bodenbewegungen

Bergbauinduzierte Bodenbewegungen sind im Gegensatz zu den Gefahrenquellen Erdbeben und Sturm ein von Menschen induzierter, stetiger Prozess. Die mit dem Abbau eines Flözes in größerer Teufe verbundenen Auswirkungen auf die Oberfläche sind im Allgemeinen recht gut vorhersehbar. Die möglichen Einwirkungen auf bauliche Anlagen lassen sich demnach realitätsnah erfassen, deren Auswirkung auf Strukturen mit den heute verfügbaren computerbasierten Rechenmodellen hinreichend gut ermitteln und entsprechende Vorkehrungen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit daraus ableiten. Darüber hinaus erlaubt die Langsamkeit des Prozesses bei entsprechender Überwachung (Monitoring) jederzeit angemessene Korrekturen des Sicherheitskonzeptes.

### 11.3.2 Darlegungen zu Regelwerken und Gesetzen und Erkenntnisse bei der Umsetzung

Anders als bei den Einwirkungen Erdbeben und Sturm gibt es bei bergbauinduzierten Bodenbewegungen keine Technische Norm, in der die auf ein Bauwerk anzusetzenden Einwirkungen (eingeprägte Verformungen und daraus resultierende Lasten) definiert werden. Ebenso wenig gibt es eine verbindliche Norm, in welcher geregelt ist, wie die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit baulicher Anlagen zu gewähr-

leisten ist. Nach der zur Zeit gültigen Gesetzgebung liegt der Umfang bergbausichernder Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter allein im Verantwortungsbereich des Bergbautreibenden. Die vom Fachnormenausschuss für Bauwesen erarbeiteten Richtlinien für die Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus, welche in NRW 1963 im Runderlass des Ministers für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten zum Thema Bauliche Sicherungsmaßnahmen in Bergsenkungsgebieten veröffentlicht wurden, stellen lediglich Empfehlungen dar und haben für die am Bau Beteiligten keinerlei verpflichtenden Charakter.

Für den Fall bergbaulicher Einwirkungen (Abbau in größerer Teufe) fehlen entsprechende rechtsverbindliche Regelungen.

Die zu erwartenden Bodenbewegungen werden vom Bergbautreibenden ermittelt, dessen Ergebnisse anschließend von den zuständigen Bergbehörden unabhängig überprüft werden. Art und Umfang der Sicherung einer baulichen Anlage gegen bergbauliche Einwirkungen werden dann im gegenseitigen Einvernehmen allein vom Bergbautreibenden und dem Betreiber einer baulichen Anlage festgelegt.

Der vorbeugende Schutz baulicher Anlagen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter ist sowohl Aufgabe des Bergbautreibenden als auch des von den bergbaulichen Einwirkungen betroffenen Betreibers einer Anlage.

Bei neu zu errichtenden Anlagen bzw. Betriebsbereichen hat der Bauherr aufgrund eines entsprechenden Verlangens des Bergbautreibenden den zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die Oberfläche durch Anpassung von Lage, Stellung und Konstruktion Rechnung zu tragen (Anpassungspflicht). Soweit ein vorbeugender Schutz durch derartige Maßnahmen nicht ausreicht, sind auf Verlangen des Bergbautreibenden zusätzliche bauliche Vorkehrungen zur Sicherung gegen Bergschäden zu treffen. Ist der Schutz baulicher Anlagen vor Bergschäden nicht möglich oder stehen die Sicherungsmaßnahmen in einem unangemessenen Verhältnis zu der durch diese Maßnahmen eintretenden Verminderung des Bergschadenrisikos, so kann der Bergbautreibende eine schriftliche Bauwarnung aussprechen.

In besonderen Fällen kann die Landesregierung durch Rechtsverordnung Baubeschränkungsgebiete festsetzen, in denen die Errichtung, Erweiterung oder Nutzungsänderung baulicher Anlagen nur mit Zustimmung der Bergaufsicht erfolgen darf.

Die Auslegung einer baulichen Anlage zur schadensfreien Aufnahme von Einwirkungen aus Bergsenkungen liegt ausschließlich in der Verantwortung des Bauherrn des Betriebsbereiches nach StörfallV oder der VAwS-Anlage sowie des Bergbautreibenden, weil nach der derzeit gültigen Rechtslage eine Kontrolle bzw. Überprüfung entsprechender Sicherheitsvorkehrungen durch eine unabhängige staatliche Einrichtung (Behörde) nicht vorgesehen ist.

Zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter kann die Bergbehörde nach § 125 BBergG lediglich Messungen anordnen, die zur Erleichterung der Feststellung von Art und Umfang zu erwartender und zur Beobachtung eingetretener Einwirkungen des Bergbaus auf die Oberfläche erforderlich sind.

Darüber hinaus kann nach einem Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes aus dem Jahre 1989 (Moers-Kapellen-Urteil) die Bergbehörde die Aufsuchung oder Gewinnung von Bodenschätzen beschränken oder sogar untersagen, wenn nur dadurch unverhältnismäßige Beeinträchtigungen des Oberflächeneigentums zu vermeiden sind. Das Bergamt legt hierbei den Kreis der an einem bergrechtlichen Zulassungsverfahren zu beteiligenden Oberflächeneigentümer fest und prüft, ob zur Vermeidung unverhältnismäßiger Beeinträchtigungen des Oberflächeneigentums ggf. bergschadensmindernde Maßnahmen zu ergreifen sind, beispielsweise durch Vorgabe der Abbaugeschwindigkeit.

Das BbergG enthält lediglich Regelungen für den Fall der Errichtung, der Erweiterung oder der wesentlichen Verränderung einer baulichen Anlage. Der Fall, dass eine bereits bestehende bauliche Anlage Einwirkungen aus bergbauinduzierten Bodenbewegungen ausgesetzt wird, ist im BbergG nicht explizit behandelt.

#### 11.3.2.1 Geplanter Abbau unter einem bestehenden Betriebsbereich

Durch den öffentlichen Rahmenbetriebsplan erhalten die Anlagenbetreiber von dem geplanten Abbau Kenntnis. Der Bergbautreibende wird von der unteren Bauaufsichtsbehörde über die für die betroffenen Gebiete vorhandenen Bebauungspläne informiert. Darüber hinaus erhält der Bergbautreibende von der Bergaufsicht eine Liste gefährdeter Betriebe für die Bereiche, in denen nach Erkenntnissen der Bergbehörde mit Auswirkungen an der Oberfläche zu rechnen ist.

Bergbautreibender und Anlagenbetreiber legen gemeinsam Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Anlage bzw. des Betriebsbereiches fest. Unter Umständen ordnet das Bergamt zusätzlich Messungen zur ständigen Beobachtung der Auswirkungen des Bergbaus auf den betroffenen Betriebsbereich an. Im Rahmen von Sonderbetriebsplänen kann die Bergbehörde unter Umständen Einfluss auf Abbaugeschwindigkeit eines Flözes nehmen, um Auswirkungen auf die Oberfläche zu begrenzen.

#### 11.3.2.2 Errichtung einer neuen Industrieanlage bei aktivem Abbau

Im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens nach BImSchG unter Einschluß des Baurechtsverfahrens wird der Bauherr eines neu zu errichtenden Betriebes von der unteren Bauaufsicht verpflichtet, sich vor Baubeginn mit dem Bergbautreibenden in Verbindung zu setzen. Der Bergbautreibende stellt dem Bauherrn dann entweder eine Unbedenklichkeitsbescheinigung aus oder aber er verpflichtet ihn gegebenenfalls, zusätzliche Sicherungsmaßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Konstruktion durchzuführen. Entsprechende Sicherheitsmaßnahmen beschränken sich nicht nur unmittelbar auf den Zeitraum des Abbaus, sondern können auch noch Jahre nach Beendigung des Bergbaus erforderlich sein, da aufgrund der mit dem Bergbau zusammenhängenden veränderten Wasserhaltung in der Region Bodenhebungen nicht auszuschließen sind.

### 11.3.3 Empfehlungen für rechtliche Maßnahmen und technische Regeln sowie Prüfverfahren

Wie bereits erläutert, fehlt im Gegensatz zu den Einwirkungen Sturm und Erdbeben für die Auslegung von Bauwerken zum Schutz gegen Einwirkungen infolge bergbauinduzierter Bodenbewegungen ein verbindliches technisches Regelwerk mit entsprechenden Vorschriften bezüglich Einwirkungen, Bemessung, Konstruktion und Ausführung baulicher Anlagen.

Die Berichtverfasser empfehlen bauordnungsrechtlich die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit baulicher Anlagen auch für den Fall bergbaulicher Einwirkungen

durch eine unabhängige Instanz zu überprüfen und zu überwachen (Einführung des Vieraugenprinzips).

Die Berichtverfasser empfehlen ferner eine entsprechende Ergänzung der 9. BImSchV, welche die Abstimmung zwischen Bergbaubehörden, Bauämtern und Genehmigungsbehörden nach dem BImSchG sowie Bergbaubetreibern, Anlagenbetreibern und Betreibern von Betriebsbereichen als auch den staatlich anerkannten Sachverständigen für die Prüfung der Standsicherheit sowie dem Sachverständigen nach § 29 a BImSchG verbindlich regelt.

Des weiteren empfehlen die Berichterstatter eine detaillierte Kartographierung der vorhandenen und zukünftigen Bergbaugebiete einschließlich der prognostizierten Setzungslinien mit den übertage überlagerten Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung vorzunehmen, wie dies von den Verfassern dieses Berichtes unter Kap. 9.6.1 bereits in einem ersten Verfahrensschritt erarbeitet wurde.

Darüber hinaus empfehlen die Berichterstatter im Rahmen von Inspektionen nach § 16 der StörfallV Meßprotokolle bei Betriebsbereichen in bergbaulich setzungsrelevanten Gebieten zu prüfen.

### 11.3.4 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Im Bereich des Bergbaus und der induzierten Bergbausenkungen bzw. Bodenbewegungen wurde über Jahrzehnte alles Wesentliche analysiert und in Mess- als auch Berechnungsmethoden umgesetzt, so dass aus heutiger Sicht kein aktueller Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht.

## 11.4 Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen in der Gesetzgebung

### 11.4.1 Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen in der Störfall-Verordnung

In der Störfall-Verordnung ist unter § 3, Abs. 2, Nr. 2 die Berücksichtigung von umgebungsbedingten Gefahrenquellen, wie Hochwasser oder Erdbeben, expressis verbis festgelegt. Des weiteren sind nach § 4 vom Betreiber zur Erfüllung der sich aus § 3 ergebenden Pflichten zur Verhinderung von Störfällen entsprechende Maßnahmen zu treffen, die sich damit auch auf umgebungsbedingte Gefahrenquellen beziehen.

Ebenfalls hat der Betreiber nach § 5 Abs. 1, Satz 1 zur Erfüllung der sich aus § 3 Abs. 3 ergebenden Pflichten Maßnahmen zu treffen, damit durch die Beschaffenheit der Fundamente und der tragenden Gebäudeteile bei Störfällen keine zusätzlichen Gefahren hervorgerufen werden können. In Bezug auf die Gefahren durch Sturm und Erdbeben bedeutet dies eine eindeutige Sicherheitsanforderung, welche über das Auslegungsniveau der DIN 1055-4 und 4149 hinausgeht.

Auch aus dem Hinweis in § 8 Abs.1 auf die „Angemessenheit“ des Konzepts zur Verhinderung von Störfällen kann abgeleitet werden, dass Gefahrenquellen wie Hochwasser, Erdbeben, Sturm oder Bergsenkungen im Konzept zu berücksichtigen sind. Dies kommt auch im Anhang II hinsichtlich der geforderten Angaben in einem Sicherheitsbericht für Betriebsbereiche, die unter die erweiterten Pflichten fallen, unter Abs. III, Punkt 1 mit der Anforderung der Beschreibung der Gefahrenquellen, die zu Störfällen führen könnten, nicht direkt aber doch mittelbar zum Ausdruck.

Bei der Ermittlung und Analyse der Risiken von Störfällen und Mittel zur Verhinderung solcher Störfälle gemäß Anhang II, Abs. IV Nr. 1 wird die Betrachtung relevanter Szenarien auch für Ursachen außerhalb einer Anlage – und damit eines Betriebsbereiches – verlangt. Dies bedeutet auch die Berücksichtigung umgebungsbedingter Gefahrenquellen.

Des weiteren ist in einer allgemeinen Festlegung zur systematischen Ermittlung der Gefahren von Störfällen in Anhang III, Abs. 3 b) eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit gefordert, welche durchaus auf die Auslösung von Störfällen durch Umgebungsbeeinflussung bei Hochwasser, Erdbeben oder Sturm anwendbar ist. Ebenfalls kann eine entsprechende Berücksichtigung der Umgebungsgefahren durch Hoch-

wasser etc. aus der Formulierung des Anhangs IV zur Information in Alarm- und Gefahrenabwehrplänen unter Nr. 3 abgeleitet werden.

Allerdings muss festgestellt werden, dass die möglichen Einflüsse und deren Auswirkungen von umgebungsbedingten Einwirkungen durch Hochwasser, Erbeben, Sturm, etc., insbesondere in Bezug auf die Auslösung von Störfällen mit der Freisetzung von Schadstoffen, in der Störfall-Verordnung nicht ausreichend präzise dargelegt sind, um detaillierte Anforderungen abzuleiten.

Einige ergänzende Hinweise enthält die im März 2004 vom BMU herausgegebene Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung [BMU, 2004]. Nach dieser Vollzugshilfe zur Umsetzung der Störfall-Verordnung sollen bei der Erstellung eines Sicherheitsberichtes nach § 9 der StörfallV umgebungsbedingte, auch naturbedingte Gefahrenquellen insbesondere Hochwasser oder z.B. Erdbeben berücksichtigt werden.

Mit der Novellierung der SEVESO II-Richtlinie [SEVESO II-Richtlinie, 2003] erfolgte keine Ergänzung in Bezug auf die Konkretisierung der grundsätzlichen Betreiberpflicht in Art. 5 hinsichtlich der Berücksichtigung einer Beeinflussung durch Umgebungsgefahren, wie Hochwasser, Erdbeben, Sturm etc., für Betriebsbereiche.

Empfehlungen:

Die Berichterstatter empfehlen eine Erweiterung der Störfall-Verordnung mit konkreten Festlegungen zum Schutz vor umgebungsbedingten Gefahrenquellen, wie Hochwasser, Sturm und Erdbeben für Betriebsbereiche gemäß den Grundpflichten sowie den erweiterten Pflichten.

Die Berichterstatter empfehlen weiter, bzgl. der Gefahrenquelle Hochwasser in der Störfall-Verordnung einen direkten Bezug sowohl zu Überschwemmungsgebieten als auch zu überschwemmungsgefährdeten Gebieten herzustellen.

Auf der Grundlage des Bemessungshochwassers und der örtlichen Lage ist für den jeweiligen Betriebsbereich die zu erwartende Wassertiefe zu ermitteln. Je nach Aufbau der Anlagen des Betriebsbereichs sind vom Betreiber Maßnahmen zu ergreifen, die einen ausreichenden Schutz des Betriebsbereiches vor Hochwasser gewährleisten. Dabei muss auch der Schutz der Anlagen vor Treibgut und Eisgang ausdrücklich genannt werden. Nach Auffassung der Berichterstatter sollte in der Störfall-Verordnung auch dieser Aspekt berücksichtigt werden.

In Bezug auf die Gefahrenquellen Sturm und Erdbeben ist nach Auffassung der Berichterstatter ein Bezug auf die Gewährleistung einer adäquaten statischen Berechnung für die Anlagenkomponenten und insbesondere Tragwerke in der StörfallV herzustellen.

Bzgl. der Gefahrenquelle Erdbeben sind vor allem diejenigen Anlagen bzw. Betriebsbereiche zu erfassen, die in erdbebengefährdeten Regionen liegen. Eine solche regionale Abgrenzung ist für die Gefahrenquelle Sturm wenig sinnvoll.

### 11.4.2 Berücksichtigung der Gefahrenquelle Hochwasser in den Wassergesetzen – weitere Ansätze zur Fortschreibung

Das Wasserhaushaltsgesetz berücksichtigt die Gefahren die mit Hochwasser verbunden sind, seit der Verabschiedung des Artikelgesetzes im Jahre 2005 wesentlich stärker als zuvor, indem es den Deichbruch sowie die Überspülung von Deichen ausdrücklich nennt. Es lässt jedoch offen, auf welcher Basis überschwemmungsgefährdete Gebiete zu ermitteln sind und nimmt bislang keinen Bezug zu den sich hieraus ergebenden Anforderungen an VAwS-Anlagen. Zur Behebung dieser Defizite wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konkrete Vorschläge unterbreitet. Dabei beziehen sich die Vorschläge, entsprechend der Aufgabenstellung, auf Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 19g WHG.

Mit der mittlerweile in allen Umweltgesetzen einheitlich eingeführten Definition des Standes der Technik im Verbindung mit ihrer Konkretisierung in 12 Punkten (Anhang 2 zu § 7a WHG) wird u.a. auch die Notwendigkeit genannt, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Umwelt zu verringern. Diese Grundsatzanforderung bezieht sich konkret auf Produktionsanlagen, die in der Abwasserverordnung geregelt werden. Das Wasserhaushaltsgesetz hat die Möglichkeit, u.a. Anforderungen an die Sicherheit von Anlagen zu stellen. Dies ist grundsätzlich möglich und zwar unabhängig von den Anforderungen gemäß der Störfall-Verordnung für Betriebsbereiche. Dabei sind jedoch Widersprüche durch die konkurrierende Gesetzgebung zu vermeiden. Das Wasserrecht könnte z.B. Anforderungen an Anlagen stellen, die nicht der Störfall-Verordnung unterliegen.

Für Anlagen, die nach § 7a WHG geregelt werden, können als Anforderung auch die Sicherung der Anlage vor äußeren Gefahrenquellen genannt werden. Wie die 12 Kriterien zu § 7a WHG in der Abwasserverordnung mit ihren Anhängen im Einzelnen

konkretisiert werden, wird derzeit in verschiedenen Bund/Länder-Gremien diskutiert. Das Umweltbundesamt hat hierzu ein Forschungsvorhaben (FKZ: 204 26 321) vergeben [Köppke u. Schönberger, 2006].

## 11.5 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung, Katastrophenschutz

### 11.5.1 Alarm- und Gefahrenabwehrplanung für Betriebsbereiche gemäß den Grundpflichten

In der Störfall-Verordnung ist in Bezug auf die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung die Forderung zur Erstellung eines internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanes (AGAP) für Betriebsbereiche mit Grundpflichten (im Gegensatz zu solchen nach den erweiterten Pflichten) sehr eingegrenzt, so dass in der Regel für solche Betriebsbereiche kein AGAP vorliegt. Hieraus resultiert eine unzureichende Information an die Behörden, die einen externen Alarm- und Gefahrenabwehrplan zu erstellen haben.

Diese Eingrenzung erscheint nicht sinnvoll, da es letzten Endes keinen Unterschied der Schadensauswirkung in Bezug auf die Freisetzung der größten zusammenhängenden Menge (GZM) eines gefährlichen Stoffes in einer bestimmten kritischen Größe aus einem sicherheitsrelevanten Behälter (SRA) eines Betriebsbereiches nach den Grundpflichten oder eines solchen mit den erweiterten Pflichten gibt. (Als Erläuterung: 190 t als GZM eines giftigen Stoffes nach der lfd. Nr. 2 der StörfallV oder 20.000 t als GZM eines Erdölerzeugnisses nach der lfd. Nr. 13 können sowohl gemäß Spalte 4 unter die Grundpflichten als auch gemäß Spalte 5 unter die erweiterten Pflichten fallen.)

Empfehlung:

Die Berichterstatter empfehlen bei Betriebsbereichen mit Grundpflichten, die gefährliche Stoffe in einer Menge entsprechend der Spalte 4 oder darüber enthalten, in Anbetracht des sicherheitsrelevanten Gefährdungspotenzials, das Erfordernis zur Erstellung von internen, d.h. betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen in der StörfallV darauf auszuweiten, wenn Betriebsbereiche in Überschwemmungsgebieten oder in überschwemmungsgefährdeten Gebieten aber auch in Erdbebengebieten liegen.

### 11.5.2 Zusammenarbeit von Betreibern und Behörden

Die Zusammenarbeit von Betreibern und Behörden hat sich bei den Untersuchungen in den Modellregionen als eines der größten Defizite erwiesen. Die Zusammenarbeit bezüglich der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung nach der StörfallV und dem Katastrophenschutz bezieht sich im Wesentlichen nur auf Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten und nur in geringem Umfang auf solche mit Grundpflichten. Letzteres zudem mit der Einschränkung, dass durch die Behörde vorher die Möglichkeit eines Dominoeffektes festgestellt werden müsste. Vom Grundsatz ist jedoch festzustellen, dass wichtige Bereiche der Alarm- und Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes nicht erfasst werden.

Empfehlung

Es wird von den Verfassern empfohlen, möglichst auf Gesetzesebene die Voraussetzung für eine vernünftige Zusammenarbeit, d.h. Verzahnung, im Bereich der Alarm- und Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes zwischen Betreibern und Behörden zu schaffen. Als problematisch erweisen sich in diesem Zusammenhang die unterschiedlichen Gesetzgebungskompetenzen. Während für BImSchG-Anlagen bzw. Betriebsbereiche, die unter die Störfall-Verordnung fallen, der Bund zuständig ist, liegen die Zuständigkeiten für den Katastrophenschutz bei den Ländern. Vor diesem Hintergrund erscheint eine gemeinsame rechtliche Regelung der internen Alarm- und Gefahrenabwehr sowie der externen Notfallplanung bzw. des Katastrophenschutzes für zu bestimmende gefährdungsrelevante Betriebsbereiche und Anlagen nicht möglich.

# 12 Literaturverzeichnis

## 12.1 Literatur zu den Kapiteln 1 – 7 und 10 – 11

ArbSchG (2002) – Arbeitsschutzgesetz vom 21. Juni 2002 durch Artikel 17 des Gesetzes zur Einführung einer kapitalgedeckten Hüttenknappschaftlichen Zusatzversicherung und zur Änderung anderer Gesetze (Hüttenknappschaftliches Zusatzversicherungs-Neuregelungs-Gesetz - HZvNG), BGBl. I Nr. 41 vom 28.06.2002, S. 2167

Baker, W. E. (1975, 1978): Workbook for Predicting Pressure Wave and Fragment Effects of Exploding Propellant Tanks and Gas Storage Vessels. NASA CR-134906

Ballast, H. (2004): persönliche Mitteilung Bayer AG, Bayer Industry Services, Nomogramme zur Ausbreitungsermittlung

BASF (1977) – Untersuchungen an zylindrischen Behältern: Maurer B., Hess K., Giesbrecht H., Leuckel W., Modelling of vapour cloud dispersion and deflagration after bursting of tanks filled with liquefied gas. 2. International Symposium on Loss Prevention

BauGb (2004) – Baugesetzbuch in der Fassung vom 23.9.2004, BGBl. I, S. 2414

BauNVO (1993) – Baunutzungsverordnung: Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke in der Fassung vom 22.4.1993, BGBl. 1, S. 466

Bender, J.; Oberle, P. (2003): „Werkzeuge zur 3D-Visualisierung (Echtzeitnavigation) der Ergebnisse numerischer Hochwassersimulationen am Neckar“ – In: Schlussbericht zu Phase I „Prototyp“ im Auftrag des Landes B.-W., Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik / Institut für Betriebs- und Dialogsysteme, Universität Karlsruhe

BetrSichV (2002) – Betriebssicherheitsverordnung: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes, BGBl. Nr. 70 vom 27.9.2002, S. 3777

BfG (2002) – Bundesanstalt für Gewässerkunde: Das Augusthochwasser im Elbegebiet 2002, Koblenz, September 2002

BfG (2004) – Bundesanstalt für Gewässerkunde: Alarmmodell Elbe – Ein Vorhersagemodell zur Berechnung des Schadstofftransports.

BImSchG (2005) – Bundes-Immissionsschutzgesetz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Er-

schütterungen und ähnliche Vorgänge vom 25. 6 2005, BGBl. I Nr. 39 vom 30.6.2005, S. 1865

4. BImSchV (2003) – Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 14. Aug. 2003, BGBl I, S. 1614

BMU (2004) – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Vollzugshilfe zur Umsetzung der Störfallverordnung vom März 2004

Bleninger, T.; Jirka, G.H.; Leonhard, D.; Hauschild, I.; Schlenkhoff, A. (2004): Immissionsorientierte Bewertung von Einleitungen in Gewässer: Mischzonen oder Opferstrecken, wo gelten die Gütekriterien? In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, Jg. 51, H. 3, S. 246-249

Blumensaat, K.; Seidel, K.-H. (2005): Hochwasser und Versicherungsschutz. Möglichkeiten und Randbedingungen des Versicherungsschutzes bei Hochwasser-Ereignissen. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, Jg. 52, H. 4, S. 437-441

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2006): Hochwasserschutzfibel, Berlin

Büchele, B. et. al. : Flood risk mapping : contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6 S. 485 – 503, 2006

BWK (2005) – Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V: Merkblatt: Mobile Hochwasserschutzsysteme - Grundlagen für Planung und Einsatz, Sindelfingen; ISBN 3-936015-19-8

Colenbrander, G. W. (1980): A mathematical model for the transient behaviour of dense vapour clouds, 3rd. Internat. Symposium Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries 1980 (Vol. 3)

Cpforum spezial (2002): Region Bitterfeld-Wolfen 13. bis 23. August, S.10

Czychowski, M.; Reinhardt, M. (2003): Wasserhaushaltsgesetz, Kommentar unter Berücksichtigung der Landeswassergesetze, 8., neubearbeitete Auflage des von Paul Gieseke und Werner Wiedemann begründeten und von Manfred Czychowski fortgeführten Werks, München

DECHEMA (1986) – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt am Main. Fortschritte in der Sicherheitstechnik, Berichte aus der Arbeit der Dechema-Fachausschüsse Monographien 107

DECHEMA (1987) – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt am Main. Fortschritte in der Sicherheitstechnik, Berichte aus der Arbeit der Dechema-Fachausschüsse Monographien 1111

DGMK (1981) – Deutsche Gesellschaft für Mineralölwissenschaft und Kohlechemie e.V.: Forschungsbericht 248, Ausbreitung und Zündfähigkeit non Kohlenwasserstoffwolken, Hamburg

DKKV (2003a) – Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.v.: Hochwasservorsorge in Deutschland, Heft 29, Bonn

DKKV (2003b) – Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V.: DKKV-Schriftenreihe, Heft 23: Werkzeuge zur 3D-Visualisierung (Echtzeitnavigation) der Ergebnisse numerischer Hochwassersimulationen am Neckar. In: Schlussbericht zur Phase I „Prototyp“ im Auftrage des Landes Baden-Württemberg

Engel, H. (2003): Erfahrungen und Erkenntnisse aus den Hochwassern 1997 an der Oder und 2002 an der Elbe - Konsequenzen für den Rhein. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Hochwasserschutzkonferenz des RP Xanten, 03.02.2003

Ettner, B.; Hanisch, H.H.; Mende, M. (2002): Fließgeschwindigkeit und Stofftransport der Elbe. In: Die Elbe – neue Horizonte des Flussgebietsmanagements. 10. Magdeburger Gewässerschutzseminar, Teubner Verlag

Fannelop, T.H. (1983): Loss Rates and Operational Limits for Booms as Barriers. Applied Ocean Res. 5, 2, p. 80

Fischer, H.B.; List, E.J.; Koh, R.C.Y.; Imberger, J.; Brooks, N.H. (1979): Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, New York

FSHG (2005) – Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung (NRW) vom 10.2.1998, geändert am 5.4.2005, GV NRW, S. 332

Goodeve, C. F.; Eastman, A.S.; Dooley, A. (1934): Trans. Faraday Society 30 1127/33

GPSG (2004) – Geräte- und Produktsicherheitsgesetz vom 06.01.2004, BGBl. I S. 2

14. GPSGV (2002) – Druckgeräteverordnung: Vierzehnte Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz vom 27. September 2002, BGBl. I Nr. 70 vom 02.10.2002 S. 3777 (3806)

Grundgesetz (2006): Gesetz zur Änderung des Grundgesetzes vom 28. Aug. 2006, BGBl. 2006, Teil I, Nr. 41, S. 2034

Grünewald, U. (2002): Kann der Mensch die Sintflut vermeiden? Lausitzer Rundschau, 31.08.2002

Hagen, E. (1943): Witterung und Klima. Teubner Verlag, Leipzig

Hennegriff, W. et al. (2006): Klimawandel und Hochwasser. Korrespondenz Abwasser, 53 (2006), Nr. 8, S. 770- 779

HWNAV (2004) – Hochwassernachrichten – und Alarmdienst im Freistaat Sachsen vom 17.Aug. 2004, SächsGVBl., S. 472

HWM VO (1997) – Verordnung über den Hochwassermeldedienst im Land Sachsen-Anhalt vom 18. August 1997, GVBl. LSA S. 778

IKSE (2003) – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe: Aktionsplan Hochwasserschutz Elbe.

IKSE (2004) – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe: Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg

IKSE (2006) – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe: Erster Bericht über die Erfüllung des „Aktionsplans Hochwasserschutz Elbe“ im Zeitraum 2003 – 2005, Magdeburg 2006

IKSR (1998) – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Aktionsplan Hochwasser

IKSR (2002) – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Hochwasservorsorge – Maßnahmen und ihre Wirksamkeit. Koblenz

IKoNE (2002): Hydrodynamisch- numerisches Flussmodell Neckar. Geschäftstelle IkoNE, Besigheim

IPCC (2001) – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2001. Summary for Policymakers, Cambridge University Press

Jarass (1999): Kommentar zum Bundesimmissionsschutzgesetz, Verlag C.H. Beck, 4. Auflage

Jonas, M. et. al. (2005): Climate Change, 07/05 ISSN 1611-885

Kaiser, W.; Rogazewski, P.; Schindler, M. (2000): Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszenarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift. KKZ 29 748 428

KatSG – LSA (2005) – Katastrophenschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt vom 28.6. 2005, GVBl. LSA 2005, S. 320

KWKG (2004) – Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz in der Fassung vom 21.7.2004, BGBl. I, S. 1918

Knacker, Th.; Mückter, H. (2005): Human- und ökotoxikologische Gefährdungspotenziale. In Gefährliche Stoffe/Neue Parameter – Einfluss auf die Wasserwirtschaft der Zukunft, Fachtagung der Emscher Genossenschaft am 16.03.2005, Oberhausen

Köngeter, J. (2002): Mobiler Hochwasserschutz – Generallösung oder Kinderspiel? 14. Wasserbau-Seminar, 21.2.2002, Essen

Köppke, K.-E.; Schönberger, H. (2006): Studie und Workshop zum Stand der Technik der Abwasservermeidung und -behandlung, FKZ: 204 26 321, Umweltbundesamt

Koordinierungskomitee Rhein (2004): Bericht gemäß Art. 3 Abs. 8 und Anhang 1 der WRRL an die EU-Kommission zur Liste der zuständigen Behörden im Einzugsgebiet der internationalen Flussgebietseinheit Rhein, Stand 28.04.2004

Kraus, O. (2005): Statische Bemessungsansätze und Lastannahmen für Mobile Hochwasserschutzsysteme. Vortrag auf dem Bundeskongress des BWK

LAWA (1990) – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Muster-Anlagenverordnung (Muster-VAwS) vom 8./9.11.1990 unter Einschluß der Fortschreibung gemäß Beschluss der 116. LAWA-Sitzung am 22./23. März 2001 in Güstrow

LAWA (1995) – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz, S. 24, Stuttgart

LAWA (2004) – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz, Nov. 2003

Lebuser, U.; Schecker, H.-G. (1986): Verdampfung von Flüssigkeiten aus offenen Lachen. DECHEMA Monographie: Fortschritte der Sicher-heitstechnik, Bd. 107, S. 331 – 448

Leeuven, C.J.; Hermens, J.L.M. (1996): Risk assessment of chemicals: an introduction. Kluver Academc Publishers

LfUG (2001) – Landesamt für Umwelt und Geologie des Freisaates Sachsen: Informationen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – Anforderungen in Überschwemmungsgebieten. Informationsblatt Nr. 06, Juni 2001

LfUG (2002) – Landesamt für Umwelt und Geologie des Freisaates Sachsen: Vorläufiger Kurzbericht über die meteorologisch-hydrologische Situation beim Hochwasser im August 2002, Version 5, 02.12.02

LfUG (2003) – Landesamt für Umwelt und Geologie des Freistaates Sachsen: Hintergrundpapier zur sächsischen Anlagenverordnung, Informationsblatt Nr. 1-1, August 2003

LfU SA (2002) – Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt: Hochwasserschutz in Sachsen-Anhalt

LUAB (2002) – Landesumweltamt Brandenburg: Das Elbehochwasser im Sommer 2002, Heft Nr. 73

Lüers (1996): Baurechtliche Instrumente des Hochwasserschutzes. UPR 1996, 241f

LWG – NRW (2004) – Landeswassergesetz des Landes Nordrhein-Westfalen in der Fassung vom 4. Mai 2004, GV. NRW 2004, S. 259

LWG – NRW (2005) – Landeswassergesetz des Landes Nordrhein-Westfalen in der Fassung vom 3. Mai 2005, GV. NRW 2005, S. 463

Mackay, D.; Matsugu, R. S. (1973): Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Can. J. Chem. Eng. 51: 434-439

Mazijk, A. van (1999): Das Rheinalarmmodell. Ein bewährtes Vorhersagemodell für den Transport von Schadstoffwellen. In: IHP/OHP-Berichte, Heft 13, Koblenz

Mehlig, B. et.al. (2002): Nachhaltiger Hochwasserschutz in Nordrhein-Westfalen. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Jahresbericht 2002

Münchener Rück (2005): Topics Geo – Jahresrückblick Naturkatastrophen 2004.

MURL (1999) – Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW: Hochwasserfibel – Bauvorsorge in hochwassergefährdeten Gebieten, Dez. 1999

MURL (2000) – Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW: Potenzielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW, Februar 2000

Neuser U. (2000): Zusammenstellung der rechtlichen Grundlagen für die Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik. Rechtsgutachten für den SFK-Arbeitskreis „Schritte zur Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik“ im Auftrag der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

Oberle, P.; Nestmann, F. (2003): GIS-Unterstützung bei Modellerstellung und Ergebnisverarbeitung. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 3, Herausgeber: Hydrologische Wissenschaften- Fachgemeinschaft ATV-DVWK

Oebius, H.U. (2004): Physikalische Grundlagen mechanischer Bekämpfung von Flüssigchemikalien auf und in Gewässern (www.ltws.de/Monographie.pdf)

Opschoor, Lebuser, Schecker: Verdampfung von Flüssigkeiten aus offenen Lachen. DECHEMA, Monographie Vol. 107, 1987

Patt, H. (2001): Hochwasserhandbuch. Auswirkungen und Schutz. Springer Verlag, Berlin

Projectorganisatic Ruimte voor de Rivier (2003): Hochwasser im Einzugsgebiet des Rheins (www.ruimtevoorderivier.ne)

Rechenberg, J. (2005): Gesetzliche Grundlagen zum vorbeugenden Hochwasserschutz - Vom Fünf-Punkte-Programm zum „Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“, Dessau 15.9.2005 (www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/Hochwasserartikelgesetz-Aufsatz-15-09-2005.pdf)

ROG (2004) – Raumordnungsetzt in der Fassung vom 24. Juni 2004, BGBl. I, S. 1359

Rutherford, J.C. (1994): River Mixing. Wiley, Chichester

SFK (1999) – Störfallkommission beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Schadensbegrenzung bei Dennoch-Störfällen. SFK GS-26

SFK (2002) – Störfallkommission beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Leitfaden – Schritte zur Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik. SFK-GS-33

SächsBRKG (2004) – Sächsisches Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz vom 24.Juni 2004, GVBl. Nr. 9, 2004, S. 245

SächsWG (2004) – Sächsisches Wassergesetz vom 18.10.2004, GVBl. 2004, S. 482

SächsVAwS (2000) – Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Lanswirtschaft über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18.4.2000, SächsGVBl. 2000, S. 223; 2001, S. 734

Schönwiese, C.-D. (2005): Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von klimatologischen Extremereignissen. UBA Bericht FKZ 201 41 254, Berlin

Seeger, G. (1974): Untersuchung der Wärmeübertragung durch Strahlung von einem brennenden Objekt auf die Umgebung; Arbeitsgemeinschaft Feuerschutz

SEVESO II-Richtlinie (2003) – Richtlinie 2003/105/EG des Rates vom 16.Dez. 2003 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen, Abl. L 345, 31.12.2003, S. 97

Shaw, P.; Briscoe F. (1980): Prog. Energy Comb. Sci

SOG LSA (2003) – Gesetz über die öffentliche Sicherheit und Ordnung des Landes Sachsen-Anhalt vom 23.9.2003, GVBl. LSA 2003, S. 214

StörfallV (2000) – 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (2002), BGBl 2000, 603

TNO (1997): Modell zur Explosionsberechnung und Druckwellenausbreitung. „Yellow Book“ der TNO, Committee for the Prevention of Disasters, Netherlands, Second / Third Edition, 1992/1997

UBA (2000): Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszenarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift, Band 2, Forschungsbericht 29748428

UBA (2001): Weiterentwicklung des Dokumentationssystems zum Stand der Sicherheitstechnik, Forschungsbericht 204 04 903

UVPG (2005) - Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung, BGBl. I Nr. 37 vom 28.06.2005

VAwS-Hessen (2006): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe. GVBl. I Nr. 6 vom 18.4.2006, S. 103

VAwS LSA (2006) – Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 28.März 2006, GVBl. Nr.12 vom 31.3.2006, S. 193

VAwS NRW (2004) – Verordnung über Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe vom 20.3.2004, GV. NRW Nr. 18 vom 9.6.2004, S. 274, Gl.-Nr. 77

Vrijling, H.; van Gelder, P.: Probabilistische Methoden zur Bemessung von Deichen und Küstenschutzbauten in den Niederlanden, 2001

von Kirchbach, H.P. et.al. (2002): Bericht der unabhängigen Kommission der Sächsischen Staatsregierung Flutkatastrophe 2002

VDI 3783: VDI-Richtlinie 3783 – Blatt 1 Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen – Sicherheitsanalyse, – Blatt 2 Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase – Sicherheitsanalyse. Beuth Verlag

VDI 6004 (2006): VDI-Richtlinie 6004 – Blatt 1 Schutz der Technischen Gebäudeausrüstung – Hochwasser, Beuth Verlag

VKF/BWG (2004) – Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern; Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel: Entscheidungshilfe: Mobiler Hochwasserschutz – Systeme für den Notfall, März 2004

VV-VAwS (2001) - Verwaltungsvorschriften zum Vollzug der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetrieben, Nordrhein-Westfalen - vom 16. August 2001 (MBl. Nr. 56 vom 12.10. 2001 S. 1136) Gl.-Nr.: 770

VV VAwS LSA (1997) - Verwaltungsvorschriften zum Vollzug der Verordnung über Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen vom 4. März 1997

VwV HWMO (2004) – Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zum Hochwassernachrichten- und Alarmdienst im Freistaat Sachsen vom 17.8.2004

VwVwS (1999) – Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen vom 17.5.1999, Banz. Vom 29.5.1999, Nr. 98a

Warm, H.J.; Föst, U.(2002): Handbuch für den Störfallbeauftragten. Fachverlag Wirtschaftsdienst, Köln

Warren (1996): A simple blast wave model for bursting spheres based on numerical simulation. Journal of Hazardous Materials, 46, 1996

WaStrG (2003) – Bundeswasserstraßengesetz in der Fassung vom 25.11.2003, BGBl. I, S. 2334

WG LSA (2005) – Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt in der Fassung vom 15.4.2005, GVBl. 2005, S. 208

WHG (2002) – Wasserhaushaltsgesetz, BGBl 2002, Teil 1 Nr. 59, 23. Aug. 2002

WHG (2005) – Wasserhaushaltsgesetz, geändert durch das Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vom 3. Mai 2005, BGBl. I Nr. 26 vom 9.5.2005, S. 1224

Wiekema, B.J.: Vapour cloud explosion model. Journal of Hazardous Materials, 3 (1980)

## 12.2 Literatur zum Kapitel 8

Abrahamczyk, L.; Langhammer, T.; Schwarz, J. (2005): Erdbebengebiete der Bundesrepublik Deutschland – Eine statistische Auswertung. Bautechnik 82 (2005), 500-507

Antes, H.; Jessberger, H.-L.; Schmid, G. (1996): Dynamic and cyclic soil-structure interaction. In: Krätzig, W. B., Niemann, H.-J. (Hrsg.): Dynamics of Civil Engineering Structures, 451-532. A. A. Balkema, Rotterdam

Awrejcewicz, J. (1995): (Ed.) Nonlinear Dynamics: New Theoretical and Applied Results. Akademien Verlag, Berlin

Bachmann, H. (1995): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser Verlag Basel

Bathe, K.-J.; Wilson, E. W.(1976): Numerical Methods in Finite Element Analysis. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey

Bathe, K.-J. (1986): Finite-Elemente-Methoden. Springer-Verlag, Berlin (Deutsche Übersetzung des englisch-sprachigen Originals „Finite Element Procedures in Engineering Analysis“ von P. Zimmermann, Prentice Hall Inc. 1982

Bertero, V. V. (1997): Performanced-based seismic engineering: A critical review of proposed guidelines. In: Fajfar, P., Krawinkler, H., Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, 1-31. A. A. Balkema, Rotterdam

Breitschaft, G. (1992): Harmonisierung technischer Regeln für das Bauwesen in Europa. Beton-Kalender 1992, Teil II, 1-18. Ernst & Sohn, Berlin

Busch, D.; Harte, R.; Krätzig, W. B.; Montag, U. (2002): Der 200 m Kühlturm in Niederaussem, ein innovatives Schalentragwerk aus Hochleistungsbeton. In: VDI-Jahrbuch Bautechnik 2002, 109-122

Calvi, G. M. (1998): Performance-based approaches for seismic assessment of existing structures. In: Bisch, Ph. et al. (eds.), Proceed. 11th Europ. Conf. Earthquake Engineering, 3-19. A. A. Balkema, Rotterdam

CEN (1996): Eurocode 8: Design provisions for eartquake resistance of structures, Part 1-4. European Committee for Standardization, Brussels

Chmielewski, T.; Krätzig, W. B.; Link, M.; Meskouris, K.; Wunderlich, W. (1996): Phenomena and Evaluation of Dynamic Structural Responses, 1-71. In: W. B. Krätzig et al.: (Eds.), Dynamics of Civil Engineering Structures, Balkema, Rotterdam

Clough, R. W.; Penzien, J. (1982): Dynamics of Structures, 5th edition. McGraw-Hill International Book Company, Tokyo

DIN 4131 (1969): Antennentragwerke aus Stahl. Beuth-Verlag Berlin

DIN E 4149 (2003): Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Deutsche Norm, Entwurfsstand vom September 2003

DIN 4149 (04/2005): Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Deutsche Norm, Weißdruck, bauaufsichtlich eingeführte Ausgabe vom April 2005

DIN E 1055-4 (2002): Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 4: Windlasten. Deutsche Norm, Entwurfsstand vom 25.04.2002.

DIN 1055-4 (03/2005): Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 4: Windlasten. Deutsche Norm, Weißdruck, bauaufsichtlich eingeführte Ausgabe vom März 2005.

DIN 4149 (04/2005): Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Deutsche Norm, NA Bau im DIN, Berlin April 2005

Eibl, J.; Kobler, G. (1978): Ableitung von Sicherheitsfaktoren. Institut für Bautechnik, 1. Sicherheitsseminar, 75-108, Berlin

Eibl, J., Häussler-Combe, U. (1997): Baudynamik, 755-861. In: Betonkalender 1997, Teil 2. Ernst & Sohn, Berlin

FEMA (1997): FEMA 273 – Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington DC

FEMA (1998): FEMA 310: Handbook for the seismic evaluation of buildings – A prestandard. Federal Emergency Management Agency, Washington

Flesch, R. (1993): Baudynamik praxisgerecht. Bauverlag, Wiesbaden

Flesch, R.; Lu, S.; Ralbovsky, M.; Graf, H. (2004): Assessment der Erdbebensicherheit von bestehenden Krankenhäusern in den Österreichischen Erdbebenzonen 3 und 4. Bauingenieur 79 (2004), DACH-Mitteilungen 9-14

Frangopol, D. M.; Liu, M. (2004): Probablistic lifetime oriented structural design and maintenance concepts: From theory to application. In: F. Stangenberg et al. (eds.), Proc. 2nd Int. Conf. on Lifetime Oriented Design Concepts, 13-20, Bochum

Freudenthal, A. M. (1956): Safety and the Probability of Failure. Transactions of ASME, paper No. 2483, Vol. 121

Fuchs, K.; Wenzel, F. (2000): Erdbeben – Instabilität von Megastädten. Schrift Nr. 6 der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Springer Heidelberg

Ghosh, S. K. (1997): Seismic detailing of reinforced concrete structures and performance-based codes. In P. Fajfar & H. Krawinkler (Eds.), Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, 101-109. A. A. Balkema, Rotterdam

Gould, P. l.; Abu-Sitta, S. H. (1980): Dynamic Response of Structures to Wind and Earthquake Loading. Pentech Press, London

Grünthal, G. (1998): European macroseismic scale. Cahier No. 15 du Centre Europeén de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg

Hamburger, R. O. (1997): Defining performance objectives. In: Fajfar, P., Krawinkler, H., Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, 33-46, A. A. Balkema, Rotterdam

Hamburger, R. O.; Scawthorn, C. (2004): Seismic Design of Buildings. In: Chen, W. F., Lui, E. M. (eds.): Handbook of Structural Engineering, 2nd Edition, 19.1-19.33. CRC Press, Boca Raton, Florida

Harte, R.; Krätzig, W. B. (2005): Schädigungsindikatoren zur Vulnerabilitätseinstufung seismisch beanspruchter Tragwerke. In: Meskouris et al. (Hrsg.), DGEB-Publikation Nr. 13, D-A-CH Tagung 2005 U Köln, RWTH Aachen

Helm, J.; Laue, J.; Triantafyllidis, Th. (2000): Untersuchungen zur Verformungsentwicklung von Böden unter zyklischer Beanspruchung. In: Heft 32 des Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik, 201-222, Ruhr-Universität Bochum

Hucho, W.-H. (2002): Aerodynamik der stumpfen Körper, Physikalische Grundlagen und Anwendungen in der Praxis. Grundlagen und Fortschritte der Ingenieurwissenschaften, Herausg.: W. B. Krätzig, O. Mahrenholtz, Th. Lehmann, P. Hagedorn. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Innenministerium Baden-Württemberg (1988): Erdbebensicher Bauen. Stuttgart

ISO: ISO 10137 – Bases for the Design of Structures, Serviceability of Buildings against Vibrations.

Kasperski, M. (2000): Festlegung und Normung von Entwurfswindlasten. Habilitationsschrift Ruhr-Universität, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bochum

Klein, G. (1993): Bestandsaufnahme des Erdbebenwissens. DGEB-Publikation Nr. 6, VCH Weinheim

Klein, G. (2001): Bodendynamik und Erdbeben. In: Smoltczyk, U. (Hrsg.), Grundbau-Taschenbuch, 6. Aufl., Teil 1, 347-399. Ernst & Sohn, Berlin

Klingmüller, O.; Bourgund, U. (1992): Sicherheit und Risiko im Konstruktiven Ingenieurbau. Vieweg Verlag, Braunschweig

Kommission der EG (1984): Eurocode Nr. 1 – Gemeinsame einheitliche Regeln für verschiedenen Einheiten und Baustoffe. Entwurf EGKS-EWG-EAG, Generaldirektion Binnenmarkt und gewerbliche Wirtschaft, Brüssel

König, G.; Tue, N. (1998): Grundlagen des Stahlbetonbaus. B. G. Teubner, Stuttgart

Kreuzer, E. (1987): Numerisch Untersuchung nichtlinearer dynamischer Systeme. Springer-Verlag, Berlin

Krätzig, W.B. et al. (1983): Kühltürme. Kapitel VIII in: H. Klotz (Hrsg.), Jahrbuch Bautechnik im Kraftwerksbau, 2. Ausgabe, 369-439. Vulkan-Verlag, Essen

Krätzig, W. B. (1989): Eine einheitliche statische und dynamische Stabilitätstheorie für Pfadverfolgungsalgorithmen in der numerischen Festkörpermechanik. ZAMM 69-7, 203-213

Krätzig, W. B.; Meskouris, K. (1990): Nachweiskonzepte für erdbebensichere Ingenieurtragwerke. In: H. Duddeck, H. Rothert (Eds.), Baustatik/Baupraxis 4, 3.1 – 3.26, Universität Hannover

Krätzig, W. B. (1990): Fundamentals of numerical algorithms for static and dynamic instability phenomena of thin shells. In: W. B. Krätzig, E. Onate (eds.), Computational Mechanics of Nonlinear Response of Shells, 101-124. Springer-Verlag, Berlin

Krätzig, W. B.; Meskouris, K.; Link, M. (1995): Baudynamik und Systemidentifikation. Beitrag in: G. Mehlhorn (Ed.): Der Ingenieurbau, Band Baustatik/ Baudynamik, 365-517, Ernst & Sohn Berlin

Krätzig, W. B.; Basar, Y.; Nawrotzki, P. (1997): Dynamic structural instabilities. Chapter 8: in Krätzig, W. B. et al. (Eds.): Dynamics of Civil Engineering Structures, 377-449, A. A. Balkema, Rotterdam

Krätzig, W. B.; Meskouris, K.(1997): Seismic damage evaluation treated as a low-cycle fatigue process. In: P. Fajfar et al. (Eds.), Seismic Design Methodologies for the next Generation of Codes, 139-149, A. A. Balkema, Rotterdam

Krätzig, W. B. (1997): Multi-level modeling techniques for elasto-plastic structural responses. In: D. Owen, E. Onate, E. Hinton (eds.), Computational Plasticity 457-468, CIMNE U Barcelona, Barcelona

Krätzig, W. B.; Meskouris, K. (1998): Assessment of seismic structural vulnerability as a low-cycle fatigue process. In: Bisch, Ph. et al. (eds.), Proceed. 11th Europ. Conf. Earthquake Engineering, 161-178, A. A. Balkema, Rotterdam

Krätzig, W. B.; Könke, C.; Mancevski, D.; Gruber, K. P. (1998): Design for durability of natural draught cooling towers by life-cycle simulations. Engineering Structures 20 (1998), 899-908

Krätzig, W. B.; Meskouris, K. (1999): Assessment of seismic structural vulnerability as a low-cycle fatigue process. In Ph. Bisch et al. (Eds.), Proceed. 11th European Conference on Earthquake Engineering, 161-178, A. A. Balkema, Rotterdam

Krätzig, W. B.; Petryna Y. S. (2004): Fundamental tools for structural damage indication and lifetime management. In: F. Stangenberg et al. (eds.), Proc. 2nd Int. Conf. Lifetime Oriented Concepts, 487-499, Bochum

Krätzig, W. B. (2004): Schädigung, Dauerhaftigkeit und Lebensdauer von Tragwerken. Der Prüfingenieur 25 (2004), 26-37

KTA 2201: Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 1 - 6. Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses, 1990 - 1992

Kuhlmann, W.; Mistler, M. (2005): Türme unter Glocken- und Erdbebenlast nach alter und neuer DIN 4178 und 4149. 07/2005 in Beton- u. Stahlbetonbau

Kunnath, S. K. (2004): Performance-Based Seismic Design and Evaluation of Building Structures. In: Chen, W. F., Lui, E. M. (eds.): Handbook of Structural Engineering, 2nd Edition, 21.1-21.53. CRC Press, Boca Raton, Florida

Landers, J. (2004): Combined Earthquake, Windstorm Legislation becomes Law. Civil Engineering 74, 2004/12, 10-11

Massarsch, K. R. (2000): Settlements and damage caused by construction-induced vibrations. In: Chouw, N., Schmid, G. (eds.) Wave, 299-315, A. A. Balkema, Rotterdam

Mayer, M. (1926): Die Sicherheit der Bauwerke und ihre Berechnung nach Grenzkräften anstatt nach zulässigen Spannungen. Verlag von J. Springer, Berlin

Meskouris, K.; Krätzig, W. B.; Elenas, A.; Heiny, L.; Meyer, I. F. (1988): Mikrocomputerunterstützte Erdbebenuntersuchung von Tragwerken. Wissenschaftliche Mitteilungen des Sonderforschungsbereichs SFB 151, Nr. 8, Ruhr-Universität Bochum

Meskouris, K.; Dorka, U. E.; Durán, M. (1996): Structural response to earthquake loads. In: Krätzig, W. B., Niemann, H.-J., Dynamics of Civil Engineering Structures, 281-319, A. A. Balkema, Rotterdam

Meskouris, K. (1999): Baudynamik – Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Verlag Ernst & Sohn, Berlin

Meskouris, K.(1999): Baudynamik, Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Ernst & Sohn, Berlin

Meskouris, K.; Hinzen, K.-G. (2003): Bauwerke und Erdbeben, Grundlagen-Anwendung-Beispiele. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden

Meskouris, K.; Brüstle, W.; Schlüter, F.-H. (2004): Neufassung der Norm 4149. Bauingenieur 79 (2004), 53-58

Meskouris, K.; Butenweg, Chr. (2005): Vulnerabilität von Baukonstruktionen. Vortrag auf der Arbeitstagung der Vereinigung der Prüfingenieure, Fulda

Mileti, D. S. (1999): Desasters by Design: A reassessment of natural hazards in the United States. Joseph Henti Press, Washington D.C.

Minister NRW Bauen und Wohnen (2000): Bauordnung NRW. Düsseldorf 3/2000

Moon, F. C. (1987): Chaotic Vibrations. J. Wiley & Sons Inc., New York

Münchner Rück (1991 u. 2002): Winterstürme in Europa I und II. Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft, München

NABau im DIN (1977): Richtlinie zur Bestimmung der Sicherheitsmaße im Ingenieurbau. (Richtlinie GruSiBau). NABau-Arbeitsausschuß Sicherheit von Bauwerken, Berlin 04/1977

NABau im DIN (2001): DIN 1045-1, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Berlin

NABau im DIN (2001): DIN 1055-100, Einwirkungen auf Tragwerke, Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. DIN e.V., März 2001

NABau im DIN (2005): DIN 4149, Bauten in deutschen Erdbebengebieten. DIN e.V., April 2005

Natke, H. G. (1992): Einführung in Theorie und Praxis der Zeitreihen- und Modalanalyse, 3. Auflage. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Nawrotzki, P.; Dalmer, F. (2005): Der Einfluss von Schwingungstilgern auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken. In: Meskouris, K., Butenweg, Chr., Hinzen, K. G. (Hrsg.), DACH-Tagung 2005 in Köln, 37-42. DGEB, Aachen

Newmark, N. M.; Hall, W. J. (1973): Procedures and Criteria for Earthquake Resistant Design. Building Practices for Disaster Mitigation, National Bureau of Standards, 209-236, Washington

Niemann, H.J. (1993): Windeinwirkungen auf hohe Schalenkühltürme. Kapitel 5.4 in: H. Krolewski (Hrsg.), Bautechnik in Wärmekraftwerken, 248-269. Verlag VGB Kraftwerkstechnik, Essen

Niemann, H.-J. (2005): Die neue Windlastnorm DIN 1055-4, März 2005, liegt als Weißdruck vor. WtG-Mitteilungen Nr. 15, Aachen

Nuti, C. (2005): A method for the evaluation of the seismic vulnerability of hospitals. CD-ROM-Beitrag in: Augusti, G., Schueller, G. I., Ciampoli, M. (eds.), Safety and Reliability of Engineering Systems & Structures. Millpress, Rotterdam

Paz, M. (1985): Structural Dynamics, 2nd edition. Van Nostrand Reinhold Company, New York

Peil, U. (2006): Windlasten auf Bauwerke – Die neue DIN 1055-4

Petersen, Chr. (1996): Dynamik der Baukonstruktionen. Vieweg, Braunschweig

Petersen, Chr. (2001): Schwingungsdämpfer im Ingenieurbau. Maurer Söhne GmbH &Co. KG, München

Rackwitz, R.; Fiessler, B. (1976): Note on Discrete Safety Checking when using Non-Normal Stochastic Models for Basic Variables. Berichte. z. Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke, Heft 14, TU München

Rackwitz, R.; Fiessler, B. (1978): Structural Reliability under Combined Random Loads. Computers & Structures, 9 (1978) 489-494. Reiter, L. (1990): Earthquake hazard analysis – Issues and insights. Columbia University Press, New York

Rat der EG (1988): Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte. AZ: 89/106/EWG, Fassung 12/1988), Brüssel

Richart, F. E.; Hall, I. R.; Woods, R. D. (1970): Vibration of Soils and Foundations. Prentice Hall, Englewood Cliffs N.J.

Rosemeier, G. (1976): Winddruckprobleme bei Bauwerken. Springer-Verlag, Berlin

Rüsch, H.; Rackwitz, R. (1970): Die Grundlagen der Sicherheitstheorie. VDI-Berichte Nr. 142, 1970

Sahlmen, J.; Meyer, J.; Niemann, H.-J. (2004): Windwirkungen auf Kühltürme – Berücksichtigung von windrichtungsabhängigen Interferenzeffekten durch Windkanaluntersuchungen. Anhang zu den WTG-Mitteilungen Nr. 14, Aachen

Schneider, J. (1984): Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen, Grundwissen für Ingenieure. vdf Hochschulverlag an der ETH und B. G. Teubner, Zürich und Stuttgart

Schueller, G. I. (1981): Einführung in die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Tragwerken. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin

Schueller, G. I. (1991): Structural Dynamics – Recent Advances. Springer-Verlag Berlin

Schueller, G. I.; Schenk, C. A. (2005): Uncertainty Assessment of Large Finite Element Systems. Springer-Verlag, Berlin

Schwarz, J.; Grünthal, G. (2005): Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Zur Einführung der DIN 4149:2005. Bautechnik 82 (2005), 486-499

SEAOC (1995): Vision 2000 – Performance Based Seismic Engineering of Buildings. Committee report, Structural Engineers Ass. of California, Sacramento

Seed, H. B.; Idriss, I. M. (1971): Simplified procedure for evaluating liquefaction potential. ASCE, Soil. Mech. and Found. Div., 97 (1971) SM 9, 1249-1273

SEI/ASCE (2003): Seismic Evaluation of Existing Buildings, ASCE Pre-Standard 31-03. ASCE, Washington DC

Sherlock, R.H.; Stout, M. B. (1937): Measurements of Wind Velocities in Natural Gales. Journ. Aer. Sc. 5 (1937), 53-61

Sockel, H. (1993): Das Problem der Abgrenzung der Schwingungsanfälligkeit. In: E. Plate (Hrsg.), WTG-Berichte Nr. 3, 171-186. Windtechnologische Gesellschaft, Aachen

Vanmarcke, E. H. (1976): Structural response to earthquakes. In: Lomnitz, C., Rosenblueth, E., Seismic risk and engineering decisions, 287-237. Elsevier, Amsterdam

Verwiebe, C.; Rusheweyh, H. (1997): Regen-wind-induzierte Schwingungen von Hängern einer Stabbogenbrücke. In: Sockel, H. (Hrsg.), WTG-Berichte NR. 4, 227-240. Windtechnologische Gesellschaft WTG, Aachen

Wakabayashi, M.(1986): Design of earthquake-resistant buildings. McGraw-Hill Book Company, Tokyo

Waller, H.; Schmidt, R. (1989): Schwingungslehre für Ingenieure – Theorie, Simulation, Anwendungen. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim

WTG (1993): Merkblatt über Windkanalversuche in der Bauwerksaerodynamik. In: E. Plate (Hrsg.), WTG-Berichte Nr. 3, 241-288. Windtechnologische Gesellschaft, Aachen

WTG-Merkblatt (1999). Windkanalversuche in der Gebäudeaerodynamik. Windtechnologische Gesellschaft WTG e.V., Aachen

Zienkiewicz, O. C. (1989): The Finite Element Method, 3rd edition. McGraw-Hill Book Company Ltd., London

## 12.3 Literatur zum Kapitel 9

BBergG (2005) – Bundesberggesetz vom 13.8.1980, zuletzt geändert am 21.6.2005, BGBl. I 2005, 1818

Bielajev, E. N. (1960): Über den Einfluss horizontaler Bodenverformungen auf Bauwerke beim bergbaulichen Abbau. Nadszachtnoje Stoitielstvo, Donieck

Grün, E. (1997): Analyse und Prognose von Unstetigkeiten infolge bergbaubedingter Bodenbewegungen im linksrheinischen Steinkohlengebiet. 41. DMV- Tagung Bad Neuenahr, Sept. 1997.

Kast, K., Brauns J.: Auswirkungen des Bergbaus auf Hochwasserschutzanlagen am Niederrhein. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn; Special 2/03

Knufinke, P. (2001): Über die Entwicklung von Unstetigkeiten an der Oberfläche im linksrheinischen Steinkohlenrevier. Das Markscheidewesen 108 (2001), Nr. 1

Knufinke, P. (2002): Zu erwartende bergbauliche Einwirkungen an der Oberfläche durch den Abbau der Bauhöhe L/K 82 im Walsumer Horst/Nordfeld. Gutachten 2002.

Kratzsch, H. (1974): Bergschadenkunde. Springer-Verlag, Berlin, 1974.

Lippert, D.; Schmidt-Schleicher, H. (1991): Forschungsvorhaben RAG-Kenn-Nr, 017, Verhalten von Bauwerken unter bergbaulichen Verkürzungen des Baugrundes, Bochum

Lippert, D.; Schmidt-Schleicher, H. (1983): Ableitung von Regeln zur Ermittlung der in die Bemessung eingehenden Zerrkräfte des Bauwerks. Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 37, Bochum

Luetkens, 0. (1941): Die Bergschadensicherung. Springer-Verlag, Berlin, 1941.

Luetkens, 0. (1957): Bauen im Bergbaugebiet. Springer- Verlag, Berlin/Göttingen/ Heidelberg, 1957.

Mautner, K. W. (1948): Structures in Areas Subjected to Mining Subsidence. The Structural Engineer, January 1948

Mautner, K. W.; Luetgens, O. (1920): Beitrag zur Frage der Gebäudesicherung im Bergsenkungsgebiet. Der Bauingenieur, H. 5

Mautner, K. W.; Luetgens, O. (1922): Die Sicherung von Bauwerken im Bergsenkungsgebiet. Deutsche Bauzeitung, 6, 7, 8

MLW (1963): Richtlinien für die Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus. Ministerialblatt das Land Nordrhein-Westfalen 16, Ausgabe A, S. 1716-1726

Muliier, R. A.; Snitko, H. K. (1966): Gebirgsdruck bei Stauchungen des oberen Gebirges und die markscheiderischen Arbeitsmethoden. WNIMI-Sammlung LXI, Leningrad

Niemczyk, 0. (1949): Bergschadenkunde. Verlag Glückauf, Essen 1949.

Nübel, K. (2002): Experimental and Numerical lnvestigation of Shear Localisation in Granular Material. Veröff. Inst. Boden,. und Felsmech., Univ. Karlsruhe, H. 159,2002.

Przibylla (1963), H.: Theorie der Modelluntersuchungen des den bergbaulichen Einflüssen ausgesetzten Untergrundes. Schlesische Technische Hochschule, Gleiwitz, Dissertation

Sliwa, J.; CIsek, T. (1974): Erddruck auf im Bergbauboden vertiefte Gebäude. Schutz der Bergbaugebiete, Höheres Bergamt, Kattowitz Nr. 28

Smoltczyk, U. (Hrsg.) (2001): Grundbau-Taschenbuch, Teil 3, 6. Ausgabe, Verlag Ernst + Sohn

Szerner, W. (1972): Erddruck als Funktion der horizontalen bergbaulich bedingten Bodenstauchungen. Wissenschaftliche Hefte der Berg und Hüttenakademie S. Staszic, Vermessungskunde Heft 20, Krakau

Varlaskin, W. M. (1965): Horizontaler Erddruck auf die in Bergbaugebieten; errichtete Gebäude- und Bauwerksfundamente. Zechenbauwesen, Moskau

Wasilkowski, F. (1950): Gründung von Gebäuden in Bergbaugebleten Ingenieure und Bauwesen W 5, Warschau

Wasilkowski, F. (1955): Vollsicherung der Bauwerke vor Bergschäden. Teil I, II, III, IV, Ingenieure und Bauwesen, Warschau Nr. 7-8/1951

Wasilkowski, F. (1966): Einfluss horizontaler Stauchungen des Untergrundes auf Gebäudefundamente in Bergbaugebieten. Ingenieure und Bauwesen, Warschau Nr. 7-8

Wasilkowski, F. (1954): Bauwerkssicherungen vor Bodenlängungen in Bergsenkungsgebieten. Ingenieure und Bauwesen, Warschau, Nr. 3